I 4471

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL IX

1

IANUARIE 1972

17561

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI—46, TELEFON 16.42.86

SUMAR

În atenția profesorilor:

Pag.

1. Tematica de studiu individual pentru perfecționarea profesorilor de fizică, și chimie, categ. I și II 1

Pentru clasele speciale: prof. *Cornelia Gheorghiu*, București

2. Noțiuni de termodinamică chimică 12

Cercet. *Iunian Chelu*, București

3. Centrul de greutate și teoremele fundamentale ale mecanicii 22

Lecții moderne de fizică și chimie: prof. *Adriana Teodoru*, București

4. Introducere în studiul cîmpului magnetic 34

N. Gherbanovschi și *R. Bobulescu*, București

5. Determinarea unor mărimi caracteristice plasmei reci prin metoda sondei Langmuir 36

6. Noutăți în librării

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, conf. univ; **Teodor Bohățiel**, lector univ; **Simion Bulgărea**, prof.; **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicolae Martalogu**, conf. univ.; **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof.; **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof.univ. (m. c. Acad. Repbulicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Volumul IX, nr. 1 Ianuarie 1972

TEMATICA DE STUDIU INDIVIDUAL PENTRU PERFECŢIONAREA PROFESORILOR DE FIZICĂ CATEGORIA I

I. Probleme generale de pedagogie

1. Progresul social contemporan şi problemele educative ale tinerei generaţii; societatea socialistă multilateral dezvoltată şi modernizarea învăţământului în R.S.R.

2. Raportul dintre formativ şi informativ în cadrul procesului de învăţământ; modalităţile de optimizare a procesului de formare a capacităţilor creatoare ale elevilor.

3. Formarea profilului moral al elevilor; modalităţi de educare a umanismului socialist, a spiritului colectivist, a patriotismului socialist.

4. Educarea în spiritul muncii comuniste a tinerei generaţii. Munca, factor principal de educaţie; forme de organizare şi desfăşurare a activităţilor tehnico-productive.

II. Probleme de informare ştiinţifică

a. **Probleme de fizică ce se referă la teme noi introduse în programă.**

1. *Elemente de fizica corpului solid.*

— Corp solid (cristalin, necristalin);

— Stare cristalină (celulă elementară, elemente de simetrie ale cristalelor, sisteme cristalografice, imperfecţiuni ale reţelei, metode de determinare ale structurii cristalului);

— Stări energetice ale electronilor în cristal (modelul electronilor liberi, teoria zonelor conductoare, izolatoare, semiconductoare, metode de investigare a structurii zonelor);

— Proprietăţi magnetice ale corpului solid (dia, para şi feromagnetism, interpretarea în teoria cuantică a acestor proprietăţi);

— Supraconductibilitate (substanţe care prezintă fenomenul de supraconductibilitate, interpertarea acestui fenomen prin teoria cuantică).

2. *Emisie stimulată.*

— Absorbţia şi emisia radiaţiei (emisie spontană şi stimulată).

— Metode de realizare a inversiunii de populaţie (iradiere optică, excitare prin ciocniri neelastice);

— Proprietăţile fasciculului laser (coerenţa, moncromaticitatea, direcţionalitatea, intensitatea);

— Tipuri de laseri (solizi, cu gaze).

3. *Fizica nucleului.*

— Modele nucleare (fapte experimentale care informează asupra structurii sistemului nucleu, modele nucleare, interpretarea datelor experimentale cu modelul picăturii şi modelul păturilor nucleare);

4. *Fizica particulelor elementare.*

5. *Fizica plasmei.*

17561

b. **Probleme de sinteză pentru reconsiderarea şi generalizarea unor noţiuni.**

1. *Rezonanţa în fizică.*
2. *Legi de conservare în fizică.*
3. *Legi statistice.*

c. **Direcţii de cercetare actuale în fizică.**

1. *Probleme de cercetare în fizica şi aplicaţiile reactorilor.*
2. *Probleme actuale ale fizicii particulelor elementare.*
3. *Probleme actuale ale cercetărilor în biofizică.*

III. Probleme de metodologia fizicii

1. *Metode de cercetare folosite de ştiinţa fizică.*
— Ştiinţa fizică (raport între fenomen şi reprezentare ştiinţifică);
— Metode de cercetare:
a) metoda experimentală (experiment de laborator şi experiment mintal).
b) metoda modelării (modele materiale, modele ideale, modele folosite în diferite capitole de fizică);
c) metoda ipotezelor:
— raportul dintre metodele de cercetare;
— metodologia utilizării metodelor de cercetare în procesul de învăţare a fizicii.

2. *Categorii pe care se construieşte fizica*:
— sistem fizic, proces fizic, fenomen fizic, mărime fizică, principii şi legi în fizică — limitele lor, determinism şi cauzalitate în fizică, formele structurale ale materiei — substanţă şi cîmp.

3. *Dezvoltarea gîndirii elevilor prin învăţarea fizicii.*

4. *Mărirea eficienţei lecţiilor prin utilizarea diferitelor strategii didactice*:
— folosirea inducţiei pentru descoperirea de elemente noi.
— conversaţia dirijată cu elevii în vederea stabilirii cadrului unei teorii.
— folosirea deducţiei pentru descoperirea de noi legi.
— anticiparea unor rezultate prin consideraţii analogice.

5. *Rolul problemelor în însuşirea fizicii*:
— fixarea aspectelor conceptuale.
— formarea deprinderilor de calcul.
— formarea deprinderilor de muncă independentă.
— probleme de examen.

6. *Probleme ale modernizării învăţămîntului fizicii.*
— preocupări în vederea schimbării structurii fizicii-şcolare; — programe şi manuale noi.
— raportul dintre fizica clasică şi cea modernă.
— preocupări pentru elaborarea unor metode noi de predare în scopul măririi randamentului lecţiilor de fizică.
— metoda instruirii programate aplicată la fizică (aspecte generale ale învăţămîntului programat, aplicaţii la fizică — avantaje, dezavantaje).
— folosirea mijloacelor tehnice noi la lecţia de fizică.

— includerea activității experimentale proprii elevului în lecția curentă de fizică.

7. *Corelarea activă între știința fizică și celelalte științe în procesul de învățământ*; frontierele fizicii, discipline de graniță, corelarea dintre fizică — matematică — chimie — biologie, etc.

8. *Controlul cunoștințelor* (verificarea modului în care elevii au asimilat informația transmisă); criterii de notare.

9. *Tehnici audio-vizuale folosite în școala de cultură generală.*

BIBLIOGRAFIE

I.

1. *Pavel Apostol* — „Accelerarea dezvoltării sociale și învățământul", în vol. „Teorie și metodă în științele sociale, Ed. politică, 1965.
2. *Vasile Bunescu* — „Orientări metodologice noi în cercetările de didactică", în volumul Studii și cercetări de didactică modernă, E.D.P., 1967.
3. *Mircea Malița* — „Renovarea pedagogiei și educației în spiritul științei moderne", Revista de pedagogie nr. 1/1971.
4. *Piaget J.* — Psihologia inteligenței, Ed. științifică, 1965.
5. *Piaget J.* — Biologie și cunoaștere, Ed. Dacia, 1971.
6. *Stanciu Stoian* — Curs de pedagogie generală (litografiat). Universitatea București, Capitolul de educație morală.
7. *Dimitrie Todoran* — „Cercetarea pedagogică și modernizarea învățământului", Revista de pedagogie nr. 7—8/1969.

II.

1. *Bircă-Gălățeanu D.* și colectiv — Fizica, vol. I, II, Ed. D.P., 1965.
2. *Bunget I.* — Electronica fizică a stării solide, Ed. științifică, 1970.
3. *Brătescu G.* — Fizica plasmei, Ed. D.P. 1970.
4. *Cucurezeanu I.* — Laseri, Edit. Acad. R.S.R., 1966.
5. *Cucurezeanu I.* — Generatoare și amplificatoare cuantice din „Cuceririle științifice ale secolului XX", Edit. științifică, 1965.
6. *Feynman R.* — Fizica modernă, vol. I, II, III, Ed. tehnică, 1970.
7. *Ionescu Th.* — Electricitatea, E.D.P., 1962.
8. *Martin T., Fingherman A.* — Elemente de fizică nucleară și termonucleară, Edit. militară, 1968.
9. *Moisil G.* — Fizica pentru ingineri, vol. I, II, Edit. tehnică, 1968.
10. *Moțoc C.* — Fizica solidului, Ed. D.P., 1968.
11. *Novacu V.* și *Vescan T.* — Teoria particulelor elementare, Ed. Academiei R.S.R., 1970.
12. *Sergiescu Viorel* — Introducere în fizica solidului, Biblioteca Soc. de Șt. Matem. și fizice din R.P.R., Buc., 1956.
13. *Spolschi E. V.* — Fizica atomică, vol. I, II, Ed. tehnică, 1954.
14. *Vasiu M.* — Fizica teoretică, Ed. D.P., 1970.
15. *Velculescu V. G.* — Despre laseri, în „Probleme actuale de fizică", Ed. D.P., 1969.
16. *Whiffere E. H.* — Spectroscopia, Ed. științifică, 1970.

III.

1. *Bărbulescu N.* — Elemente de fizică generală, E.D.P., 1962.
2. *Bota Valeria* și col. — Contribuții la metodica lecțiilor axate pe situații probleme, Revista de pedagogie, an XVII, nr. 9.
3. *Bianu V.* — Optică geometrică, Ed. tehnică, 1962.
4. *Bursuc Ilie* — Introducere în optica electronică, Ed. științifică, 1968.
5. *Chelu I.* — Funcția metodică a modelului în predarea fizicii în „Didactică și educație", Craiova, 1969.
6. *Hutten E.* — Ideile fundamentale ale fizicii, Ed. Enciclopedică, România, 1970.
7. *Mucke H.* — Modelul în predarea fizicii, în „Predarea matematicii și fizicii", Colecția Modernizarea învățământului" nr. 1/1970.
8. *Roșca Al.* și col. — Creativitate, modele, programe, Ed. științifică, 1967.

TEMATICA DE STUDIU INDIVIDUAL PENTRU PERFECȚIONAREA PROFESORILOR DE FIZICĂ CATEGORIA II

I. Probleme generale de pedagogie.

Aceleași ca la categoria I.

II. Probleme de informare științifică.

1. *Elemente de mecanică.*

— Cinematica și dinamica punctului material (punct material, elemente cinematice, mărimi dinamice, aspectul cinematic și dinamic al mișcării rectilinii și circulare).

— Cinematica și dinamica solidului rigid (solid, rigid, mișcare de translație, mișcare de rotație, mărimi cinematice și dinamice caracteristice acestor mișcări);

— Sisteme mecanice (sistem fizic, interacțiuni interioare, exterioare, teoreme de variație — impuls, moment cinetic, energie — legi de conservare).

2. *Elemente de acustică.*

— Sunetul (producere, propagare, recepționare, calități, limite de audibilitate).

— Vibrația corpurilor (coarde vibrante, tuburi sonore, rezonanța acustică).

3. *Elemente de fizică moleculară și termodinamică.*

— Teoria cinetico-moleculară (baze experimentale — difuziune, mișcare browniană);

— Modelul gazului ideal (legea generală a gazelor ideale, legi particulare);

— Termodinamică (sistem termodinamic, parametri de stare, procese termodinamice, principiul I, principiul II — prezentate fenomenologic și interpretate statistic).

4. *Elemente de electromagnetism.*

— Cîmp electromagnetic în regim static (electrizare, interacțiuni electrostatice, cîmp electrostatic, sarcină electrică, intensitatea cîmpului electric, substanța în cîmp electric);

— Cîmp electromagnetic în regim staționar (conductori în stare electrocinetică staționară, curent electric staționar, circuit electric, rețele electrice, legi ce guvernează circuitele electrice; cîmp magnetic, interacțiuni magnetice, inducție magnetică, substanțe în cîmp magnetic)

— Cîmpul electromagnetic în regim variabil (fenomenul de inducție electromagnetică, curent electric alternativ, oscilații electromagnetice de înaltă frecvență, unde electromagnetice);

5. *Elemente de structura atomului.*

— Modele atomice (fapte experimentale care informează asupra structurii sistemului atomic: modele atomice Rutherford, Bohr și Sommerfeld, explicarea datelor experimentale cu aceste modele);

— Nucleul atomic (fapte experimentale care informează asupra structurii sistemului nucleu, particule constituente ale nucleului, forțe nucleare, energie de legătură);

III. Probleme de metodologia fizicii.

1. *Metode de cercetare folosite de știința fizică* :
— Știința fizică (raport între fenomen și reprezentare științifică);
— Metode de cercetare :
— metoda experimentală (experiment de laborator și experiment mintal);
— metoda modelării (modele materiale, modele ideale, model efolosite în diferite capitole de fizică);
— metoda ipotezelor;
— raportul dintre metodele de cercetare;
— metodologia utilizării metodelor de cercetare în procesul de învățare a fizicii.

2. *Dezvoltarea gîndirii elevilor ptin învățarea fizicii* :
— Aspecte generale ale dezvoltării gîndirii (posibilitatea educării gîndirii, dezvoltarea flexibilității și creativității gîndirii în procesul de învățare a fizicii);
— Metodologia folosirii diferitelor forme ale învățămîntului problematizat (comunicarea de noi cunoștințe, verificarea cunoștințelor teoretice și practice, aprofundarea și sistematizarea cunoștințelor, etc.).

3. *Mărirea eficienței lecțiilor prin utilizarea diferitelor strategii didactice* :
— folosirea inducției pentru descoperirea de elemente noi;
— conversația dirijată cu elevii în vederea stabilirii cadrului unei teorii.
— folosirea deducției pentru descoperirea de noi legi;
— anticiparea unor rezultate prin considerații analogice.

4. *Rolul problemelor în însușirea fizicii* :
— fixarea aspectelor conceptuale;
— formarea deprinderilor de calcul;
— formarea deprinderilor de muncă independentă;
— probleme de examen.

5. *Probleme ale modernizării învățămîntului fizicii* :
— preocupări în vederea schimbării structurii fizicii școlare; programe și manuale noi;
— raportul dintre fizica clasică și cea modernă;
— preocupări pentru elaborarea unor metode noi de predare în scopul măririi randamentului lecțiilor de fizică;
— metoda instruirii programate aplicată la fizică;
— folosirea mijloacelor tehnice noi la lecția de fizică;
— includerea activității experimentale proprii elevului în lecția curentă de fizică.

6. *Controlul cunoștințelor; criterii de notare.*

7. *Tehnici audio-vizuale* folosite în școala de cultură generală.

BIBLIOGRAFIE

I.

Aceeași ca pentru categoria I.

II.

1. *Bărbulescu N.* — Elemente de fizică generală E.D.P., 1962.
2. *Bădărău E.* — Bazele acusticii moderne, Ed. Academiei, 1961.
3. *Cișman Al.* — Fizică generală, vol. I, II, Edit. tehnică, 1960.

4. *Fransua Al.* — Electrotehnica şi electronica, E.D.P., 1969.
5. *Friş S. E., Timoreva A. V.* — Fizica generală, vol. I, II, III, Edit. tehnică, 1964.
6. *Helgiu I.* — Fizica generală, E.D.P., 1970.
7. *Helmut L.* — Elemente de fizică atomică şi nucleară, Edit. tehnică, 1962.
8. *Mihu V.* — Mecanică fizică şi acustică, E.D.P., 1965.
9. *Sălceanu C.* — Căldură şi termodinamică, E.D.P., 1968.

III.

Aceeaşi ca pentru categ. I.

TEMATICA DE STUDIU INDIVIDUAL PENTRU PERFECŢIONAREA PROFESORILOR DE CHIMIE CATEGORIA I

I. Probleme generale de pedagogie.

Aceleaşi ca pentru fizică.

II. Probleme de metodologia chimiei.

1. *Metode de cercetare în ştiinţa chimiei*:

a) metoda experimentală (experiment de laborator şi experiment mintal);

b) metoda modelării (modele materiale, modele ideale, modele folosite în diferite capitole ale chimiei);

c) metoda ipotezelor:

— raportul dintre metodele de cercetare

— metodologia utilizării metodelor de cercetare în procesul de învăţare a chimiei.

2. *Categorii pe care se construieşte chimia*:

— fenomen chimic, principii şi legi în chimie, limitele lor, determinism şi cauzalitate în chimie, formele structurale ale materiei.

3. *Eficienţa lecţiilor prin utilizarea diferitelor strategii didactice*:

inducţia; conversaţia dirijată; deducţia; anticiparea unor rezultate prin consideraţii analogice.

4. *Probleme ale modernizării învăţământului chimiei.*

a) Preocupări în vederea schimbării structurii chimiei şcolare — concepţii de programe şi manuale noi.

b) Raportul între clasic şi modern în chimie.

c) Metode noi folosite în cadrul lecţiilor moderne de chimie:

— Modelarea (aspecte generale, aplicaţii la chimie).

— Instruirea programată (aspecte generale, aplicaţii la chimie, exemplificări de lecţii elaborate prin metoda instruirii programate).

— Instruirea problematizată (mod de a pune problema, avantaje ale învăţării prin problematizare, exemplificări de lecţii realizate prin problematizări).

5. *Corelarea activă* între chimia ca ştiinţă şi celelalte ştiinţe în procesul de învăţământ; corelarea dintre chimie, fizică, matematică, biologie, etc.

6. *Controlul cunoștințelor* (verificarea modului în care elevii au asimilat informația transmisă); criterii de notare.

7. *Tehnici audio-vizuale* folosite în școala de cultură generală.

BIBLIOGRAFIE

Aceeași ca pentru fizică I și

Bota Valeria și colectivul — Revista de pedagogie, Buc., an XVII, nr. 9 „Contribuții la metodica lecțiilor axate pe situații probleme". Gazeta Învățământului, 1968, nr. 962 (27 sept.), pag. 4, „Învățarea prin problematizare".

III. Probleme de informare științifică

A. I. *Sistemul periodic în lumina teoriilor moderne relative la structura tomului.*

1. Privire evolutivă relativă la modelele atomice.

a) Experiențe care atestă structura complexă a atomului (electroliză, experiența Millikan, descărcări electrice în gaze, exp. Rutherford) având drept consecințe:

— modelul static (Thomson);

— modelul dinamic (Rutherford).

b) Experiențe care demonstrează discontinuitatea schimburilor energetice între atom și exterior concluzionate în cuantificare (efectul fotoelectric, spectre de raze X, spectre optice); consecință, modelul cuantic (Bohr—Sommerfeld).

Introducerea și semnificația celor patru numere cuantice.

c) Difracția electronilor prin foițe metalice, consecință a naturii ondulatorii a electronului (modelul atomic privit prin mecanica ondulatorie). Orbitali atomici — semnificația fizică.

d) Completarea straturilor cu electroni, reflectată în structura sistemului periodic:

— perioade, grupe, elemente tranziționale, proprietăți neperiodice și periodice.

BIBLIOGRAFIE

Nenițescu C. D. — Chimie generală, Edit. tehnică, 1963, capitolele: V, VI, pag. 64—101.

Cădariu L. — Chimie fizică, vol. I (structura atomului și a moleculei), Edit. tehnică, București, 1967, cap. 2, pag. 19—214.

A. II. *Reflectarea tipurilor de legături chimice în proprietățile diferitelor tipuri de compuși organici și neorganici.*

1. Compuși ionici. Formare. Proprietăți. Rețele ionice.

2. Compuşi covalenţi polari şi nepolari. Legături dative. Reţele atomice.

3. Compuşi de coordinaţie. Teorii în vederea explicării legăturii coordinative.

Proprietăţi :

a) solubilitate

b) culoare

c) conductibilitate.

4. Explicarea proprietăţilor anormale ale unor compuşi covalenţi în care apar punţi de hidrogen.

5. Reţele moleculare. Forţe Van der Waals.

6. Proprietăţi ale metalelor în funcţie de prezenţa legăturii metalice. Benzi de energie.

BIBLIOGRAFIE

Nenițescu C. D. — Chimie generală, Edit. tehnică, 1963, cap. 7 şi 8.
Cădariu I. — Chimie fizică, vol. I, Edit. tehnică, 1967, Bucureşti, cap. 4.
Spacu Petru, Brezeanu Maria — Chimia combinaţiilor complexe, E.D.P., ed. 1969, cap. I, II, III, XII, XIV, XVII.

A. III. *Izomerie — Izomeri*

1. Generalităţi. Definiţie. Clasificare. Explicarea deosebirilor dintre izomerie plană şi spaţială.

2. Tipuri de izomerie plană :

a) de catenă

b) de poziţie

c) de funcţiune

d) de compensare.

3. Tipuri de izomerie spaţială :

a) de rotaţie

b) geometrică (cis şi trans)

c) optică (cu carbon asimetric şi fără carbon asimetric).

d) tautomerie.

BIBLIOGRAFIE

Nenițescu C. D. — Chimie organică, vol. I, E.D.P., 1966.
Nenițescu C. D. — Chimie organică, vol. II, E.D.P., 1968.
Angelescu E., Cornea F. — Probleme teoretice ale chimiei organice.
Reutov O. A. — Probleme teoretice ale chimiei organice.

A. IV. *Evoluţii în formularea structurală a unor compuşi oragnici şi neorganici* :

1. Stereochimia compuşilor sulfului

2. Stereochimia compuşilor azotului în comparaţie cu cei ai fosforului

3. Structura silicaţilor

4. Structura compuşilor halogenilor.

BIBLIOGRAFIE

Nenițescu C. D. — Chimie generală, Edit. tehnică, 1965, pag. 559—587 (Siliciul şi compuşii lui) ; pag. 404—435 (Sulful şi compuşii) ; pag. 440—490 (N, P, şi compuşii) ; pag. 379—401 (halogenii).

Korşak V. V. — Progrese în chimia polimerilor, Edit. ştiinţifică, 1968, pag. 392—405, 270—271, 271—282.
Neniţescu C. D. — Chimie organică, vol. I, E.D.P., 1966.
Neniţescu C. D. — Chimie organică, vol. II, E.D.P., 1968.
Haiduc Ionel — Introducere în chimia ciclurilor anorganice, Edit. Acad. R.S.R., 1960.

B. *Tipuri de reacţii în chimia anorganică şi organică*

B. I. *Tipuri de reacţii în chimia organică* :

1. Reacţionabilitatea combinaţiilor organice în funcţie de structura acestora şi de influenţa factorilor externi.

a) Structura substanţelor organice în funcţie de tipul de legături chimice (aranjamentul spaţial al atomilor, legături chimice, influenţa reciprocă dintre amenajarea spaţială şi tipul de legătură stabilit la formarea moleculelor).

c) Caracteristicile reacţiilor în chimia organică.

3. Mecanismul de reacţie specific substanţelor organice participante.

a) Scindări homol ice şi heterolitice în funcţie de tipul de legătură covalentă existentă în nolecule participante.

4. Transmiterea i fluenţelor reciproce.

a) Efecte inducti e.

b) Efect electron r.

5. Clasificări ale acţiilor combinaţiilor organice.

BIBLIOGRAFIE

Neniţescu C. D. — Chimie org ică, vol. I, Edit. Tehnică, 1960, cap. III, pag. 152—184, generalităţi şi în cadrul fie rei clase de substanţe, vezi metode de obţinere şi proprietăţi chimice (tipul de react).

Cinetică chimică.

— Criterii de cla ficare ale reacţiilor chimice

— Ordin de reac e. — Molecularitate

— Viteza de reac ie în diferite tipuri de procese

— Mecanisme de eacţie. — Teorii generale

— Particularităţil reacţiilor chimice, după criterii termodinamice

— Reacţii reversi ile şi ireversibile. Condiţii de producere. Randament de reacţie

— Afinitate chim că şi echivalentul său energetic

— Termodinamic proceselor la electrozi

— Pile electrice.

BIBLIOGRAFIE

Niac G. — Chimie fizică, Ed. Pedag., 1969.
Karapetianţ — Termodinamic chimică, Edit. tehnică, 1961.
Atanasiu I. A. — Electrochir e, Edit. tehnică.

C. I. *Acizi nucle i* (2 ore)

1. Generalităţi d spre proteine :

a) Unităţi struct rale

b) Structura pro einelor (proteine fibrilare, globulare, tridimensionale) şi reflectarea ac tora în proprietăţile proteinelor

c) Clasificări : ho oproteine, heteroproteine. Deosebirea între holoproteine şi heteroprote ne

2. Acizi nucleici :
a) Acizi nucleici ca parte componentă a nucleoproteinelor
b) Structura acizilor nucleici
c) Clasificare : ARN şi ADN
d) Structurile acestora şi rolul lor în organismele vii. Caracteristici generale.

BIBLIOGRAFIE

Nenițescu C. D. — Chimie organică, vol. II, E.D.P., 1968, pag. 231, 721—722, 724, 727, 730, 731, 737, 739, 743—746 ; pag. 394—422.

C. II. *Biocatalizatori* (2 ore curs)
1. Biocataliza, aspect particular al fenomenului de cataliză.
2. Biocatalizatori şi rolul acestora în procesele metabolice :
   a) Definiţie
   b) Structură
   c) Clasificare
   d) Rolul biocatalizatorilor în procesele metabolice
   e) Asemănări şi deosebiri între catalizatori şi biocatalizatori.

BIBLIOGRAFIE

Gruia M., Vasu S. S. — Cataliza şi biocataliza în chimia modernă, Edit. ştiinţifică, 1967

D. I. *Chimizarea principalelor bogăţii naturale*
1. Bazele industrializării chimice :
   a) Materii prime naturale
   b) Purificarea apelor industriale
   c) Surse energetice.
2. Chimizarea principalelor bogăţii naturale :
   a) Metan, ţiţei-petrochimie
   b) Mase plastice, cauciuc sintetic, fibre sintetice
   c) Industria clorului
   d) Celuloza
   e) Azot şi îngrăşăminte cu azot.

BIBLIOGRAFIE

Nicolescu I. V., Ababi V., Kulcsar K. — Tehnologie chimică generală.
Iovu M. — Industrii chimice.
Winnaker K. — Tehnologie chimică organică, vol. I, Edit. tehnică, 1958.
Weingartner K. — Tehnologie chimică anorganică.

TEMATICA DE STUDIU INDIVIDUAL PENTRU PERFECŢIONAREA PROFESORILOR DE CHIMIE CATEGORIA II

I. Probleme generale de pedagogie.

Aceleaşi ca pentru categoria I-a

II. Probleme de metodologia chimiei.

Aceleaşi ca pentru categoria I-a.

III. Probleme de informare ştiinţifică.

A. I. *Sistemul periodic în lumina teoriilor moderne relative la structura atomului* (vezi categoria I-a).

A. II. *Reflectarea tipurilor de legături chimice în proprietăţile diferitelor tipuri de compuşi oragnici şi neorganici* (vezi categoria I-a).

A. III. *Izomerie — izomeri* (vezi categoria I-a).

A. IV. *Evoluţii în formularea structurală a unor compuşi organici şi neorganici* (vezi categoria I-a).

B. *Tipuri de reacţii în chimia organică şi anorganică.*

B. I. *Tipuri de reacţii în chimia organică* (vezi categ. I-a).

B. II. *Tipuri de reacţie în chimia anoragnică.*

1. Criterii determinante ale tipurilor de reacţii în chimia anorganică :
   a) Ordin de reacţie
   b) Termodinamic
   c) Molecularitate
   d) Mediul de reacţie
   e) Viteza de reacţie (reacţii totale şi reversibile)
   f) Starea de oxidaţie

2. Mecanisme de reacţii. Exemple de tipuri fundamentale de reacţii. Teorii generale referitoare la aceste mecanisme.

3. Reacţii speciale : *Reacţii nucleare.*

BIBLIOGRAFIE

Nenițescu C. D. — Chimie generală, Edit. tehnică, 1963, pag. 299—302, 311—316, 320—392, 188—203, 216—223, 296—297.
Albert F. M. şi colab. — Chimie generală, Edit. cap. VI, p. 154—173, 178—184, 185—190.
Beral E., Zapan M. — Chimia anorganică, Edit. tehnică, 1968, cap. 7, 10, 12, 13, 14, pag. 159—170; 184—214; 101—124.

C. *Apa — Soluţii* :
— Structura moleculei de apă
— Apa ca solvent
— Solubilitate — Soluţii
— Soluţii moleculare şi coloidale (obţinere, proprietăţi diferenţiale).

BIBLIOGRAFIE

Beral E., Zapan M. — Chimie anorganică, Edit. tehnică, 1968, cap. 16, pag. 218—247.
Rabega C. — Chimie generală ,E.D.P., 1970, cap. XII, pag. 217—235, cap. XIV, pag. 271, 307.
Albert F. M. şi colab. — Chimie generală, E.D.P., 1967, cap. VII A, VII B, pag. 193—221.

D. I. *Soluţii de electroliţi* :
— Generalităţi despre soluţiile de electroliţi. Proces de ionizare.
— Produs de solubilitate.
— Fenomenul de hidroliză.

BIBLIOGRAFIE

Rabega C. — Chimie generală, E.D.P., 1970, cap. XIII, pag. 236—270.
Albert F. M. şi colab. — Chimie generală, E.D.P., 1967, cap. VIII, pag. 225—238.

D. II. *Termodinamica proceselor la electrozi. Pile electrice*:
1. Pile electrice
2. Polimerizarea electrochimică
3. Surse electrochimice de curent.

BIBLIOGRAFIE

Niac Gavril — Chimie fizică, E.D.P., 1966, cap. 116, paragrafele 6, 4, 5; 6,6.
Nenițescu C. D. — Chimie generală, Edit. tehnică, 1963, pag. 246—272.
Albert F. M. și colab. — Chimie generală, E.D.P., 1967, cap. VIII, pag. 238—258.

D. III. *Unele aspecte relative la fenomenul de coroziune*:
1. Termodinamica și cinetica coroziunii chimice și electrochimice.
2. Factori care influențează coroziunea electrochimică.
3. Metode de prevenire și combatere a coroziunii.

BIBLIOGRAFIE

Albert F. M. și colab. — Chimie generală, E.D.P., cap. X, pag. 286—310.

E. I. *Chimizarea principalelor bogății naturale*:
1. Bazele industrializării chimice:
   a) Materii prime naturale
   b) Surse de apă industrială
   c) Surse energetice
   d) Căi de transport.
2. Chimizarea principalelor bogății naturale:
   a) Metan, țiței — petrochimie
   b) Cărbune — carbochimie
   c) Industria de clorosodice
   d) Celuloza, derivații principali
   e) Azot și îngrășăminte cu azot
   f) Minereuri (metalurgii feroase, neferoase).

BIBLIOGRAFIE

Nicolescu I. V., Ababi V., Kulcsar K. — Tehnologie chimică generală.
Iovu M. — Industrii chimice.
Albert M. F. și colab. — Chimie generală, Edit. didactică și pedagogică, 1967, cap. XII, XIII A, XIII B, XIII C.

CONSULTAȚII PENTRU PROFESORII CARE PREDAU LA CLASELE SPECIALE

Programa anului II a clasei speciale de chimie prevede predarea unor capitole noi ca: Termodinamica chimică, Cinetica chimică, Echilibrul chimic, numai sub aspect calitativ. Din experiența anului școlar trecut s-a constatat că tov. profesori de chimie, din dorința de a transmite elevilor un volum mare de cunoștințe teoretice, au insistat într-o măsură exagerată asupra aspectelor cantitative a noțiunilor mai sus prezentate. De aceea redacția Revistei de Fizică și Chimie, seria A, a hotărît să deschidă rubrica „Consultații pentru profesorii care predau la clasele speciale".

Cu acest prilej vă invităm să participați cu articole care să se refere și să se prezinte capitolele prevăzute în programa școlară la un nivel accesibil elevilor.

Deschidem ciclul acestor articole cu tema:

NOȚIUNI DE TERMODINAMICĂ CHIMICĂ

Profesor emerit *CORNELIA GHEORGHIU*, București

Studiul transformărilor de energie constituie, așa după cum se știe, obiectul termodinamicii.

Termodinamica chimică, care este un capitol al termodinamicii, studiază însă sistemele formate dintr-un număr foarte mare de particule și procesele care au loc în acestea din punct de vedere al relației dintre energia termică și celelalte forme de energie.

Prin sistem chimic se înțelege o cantitate definită de una sau mai multe substanțe de dimensiuni macroscopice, la temperatură, presiune și concentrație date. Starea sistemului se caracterizează cu ajutorul proprietăților macroscopice ale sistemului, care se cunosc sub numele de parametri de stare. Aceștia se împart în două categorii și anume: parametri extensivi care cuprind proprietățile ce sînt direct proporționale cu cantitatea de substanță și parametri intensivi care cuprind proprietățile independente de cantitatea substanței. Masa, care în chimie se măsoară adesea în moli, numărul de moli și volumul sînt parametri extensivi. Densitatea, volumul molar, compoziția sistemului, presiunea și temperatura sînt parametri intensivi pentru că sînt independenți de cantitatea totală a substanței.

În studiul proceselor, termodinamica chimică consideră numai stările inițiale și finale ale sistemelor chimice în curs de transformare și prevede variațiile energiilor acestor transformări, fără a se preocupa de drumul parcurs, de viteza de reacție sau de intermediarii ce apar în cursul reacției.

Termodinamica este deci, în esență, o disciplină deductivă care își bazează concluziile și afirmațiile pe un număr restrîns de legi fundamentale, numite principii ale termodinamicii.

Aceste principii sînt de fapt postulate care nu pot fi deduse pe cale teoretică, dar care sintetizează experiența practică seculară a omenirii. Valabilitatea lor este demonstrată cu prisosință prin faptul că toate concluziile trase din ele sînt în perfectă concordanță cu practica.

Pentru exemplificarea celor de mai sus se va lua ca prim exemplu obținerea gazului de apă:

$$H_2O_{(g)} + C_{(s)} \xrightarrow{600^\circ C} CO_{(g)} + H_{2(g)}. \qquad (1)$$

Se știe că în practică pentru a obține acest excelent combustibil, trebuie să întrerupem periodic curentul de vapori de apă și să readucem cărbunele la 600° C pentru a se putea menține reacția.

Măsurînd cantitatea de căldură absorbită de sistem s-a constatat că ea corespunde valorii de 31,4 Kcal/mol de C.

Întrucît această cantitate de căldură este consumată, ca și reactanții, putem scrie ecuația (1) astfel:

$$H_2O_{(g)} + C_{(s)} + 31{,}4 \text{ Kcal} \rightarrow CO_{(g)} + H_{2(g)}. \qquad (1')$$

Gazul de apă rezultat este în continuare folosit drept combustibil, reacţiile chimice de combustie fiind :

$$CO_{(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \qquad (2)$$

$$H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(g)}. \qquad (3)$$

Dar aceste transformări, spre deosebire de reacţia (1), sînt însoţite de o eliberare de căldură. Deoarece căldura este produsă de reacţie, ca şi produşii de reacţie, cantitatea de căldură cedată se plasează în partea dreaptă a ecuaţiei.

Măsurători exacte au arătat că valorile cantităţilor de căldură cedate sînt 67,6 Kcal/mol de CO şi respectiv 57,8 Kcal/mol de H_2 :

$$CO_{(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 67{,}6 \text{ Kcal} \qquad (2')$$

$$H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(g)} + 57{,}8 \text{ Kcal} \qquad (3')$$

Deci, consumul de căldură şi apă pentru a genera gazul de apă este urmat de combustia gazului de apă pentru a forma CO_2 şi H_2O.

Însumînd reacţiile (1), (2) şi (3) se observă că reacţia totală corespunde arderii directe a C.

$$H_2O_{(g)} + C_{(s)} \rightarrow CO_{(g)} + H_{2(g)}$$

$$CO_{(g)} + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_{2(g)}$$

$$H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O_{(g)}$$

$$\overline{C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}}. \qquad (4)$$

Experimental s-a constatat însă că dacă se arde direct cărbunele se vor elibera 94 Kcal/mol de C.

$$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 94 \text{ Kcal}. \qquad (4')$$

Dacă aceeaşi cantitate de C este convertită în gaz de apă se eliberează însă suma căldurilor reacţiilor (2) şi (3), adică : 67,6 + 57,8 = 125,4 Kcal.

De aici rezultă că gazul de apă este un combustibil superior cărbunelui, el eliberînd mai multă căldură pe mol de C, deoarece în cursul reacţiei (1) s-a absorbit această cantitate de căldură.

Reprezentînd efectele calorice şi bilanţul termic al reacţiilor de mai sus într-un tabel (pag. 15) se constată că gazul de apă a înmagazinat 31,4 kcal/mol.

Cantitatea de căldură înmagazinată este bine definită, nealterabilă, iar valoarea ei depinde atît de reactanţi cît şi de produşii de reacţie.

Referindu-ne la cazul reacţiei (1′) putem considera că 31,4 Kcal corespunde creşterii conţinutului caloric al atomilor reactanţilor (C şi

Reacția	Debit căldură absorbită	Credit căldură degajată
1'	31,4 Kcal/mol	—
2'	—	67,6 Kcal/mol
3'	—	57,8 Kcal/mol
1' + 2' + 3' (reacția globală)	31,4 Kcal/mol	125,4 Kcal/mol
ΔH (total credit-total debit)	—	94 Kcal/mol

H_2O) pentru rearanjarea lor sub formă de produși (CO și H_2). Așa cum orice substanță moleculară prezintă o masă caracteristică, tot așa va avea și un „conținut caloric" caracteristic. Conținutul caloric măsoară deci energia înmagazinată într-o substanță în cursul formării ei.

De aici deducem ușor că efectul caloric al unei reacții chimice care are loc la o presiune constantă va măsura diferența dintre conținutul caloric al produșilor și acela al reactanților.

În cazul cînd în reactanți se găsește înmagazinată o cantitate mai mare de energie decît în produși, reacția se va produce cu degajare de căldură și se va numi reacție exotermă. Dacă în reactanți se va găsi înmagazinată o cantitate mai mică de energie decît în produși, reacția se va produce cu absorbție de căldură și se va numi reacție endotermă.

Conținutul caloric se notează prin H, iar efectul caloric fiind o diferență între conținutul caloric al produșilor și conținutul caloric al reactanților se va nota cu ΔH și se va numi căldură de reacție *.

Căldura de reacție are o valoare constantă pentru reacția respectivă, dacă condițiile în care ale loc reacția (presiune, temperatură, stare fizică, stare cristalină etc.), rămîn aceleași. Ea se exprimă în Kcal/mol.

Pentru reacția (1) căldura de reacție va fi :

$$\Delta H = [H_{CO} + H_{H_2}] - [H_{H_2O} + H_C]$$

$$\Delta H = H_{CO} + H_{H_2} - H_{H_2O} - H_C$$

Cum reacția consumă căldură, conținutul caloric al produșilor va fi mai mare și deci ΔH va fi pozitiv.

Reacția (1') se poate scrie sub forma unei ecuații termochimice astfel :

$$H_2O_{(g)} + C_{(s)} \rightarrow CO_{(g)} + H_{2(g)}$$

$$\Delta H = +\ 31{,}4 \text{ Kcal/mol}$$

Reprezentînd pe abscisă sensul reacției, iar pe ordonată conținutul caloric se poate schița diagrama căldurii de reacție ca în fig. 1.

Din diagramă rezultă clar că în cazul cînd conținutul caloric H crește, prin absorbție de căldură, semnul căldurii de reacție este pozitiv, deci $\Delta H > 0$.

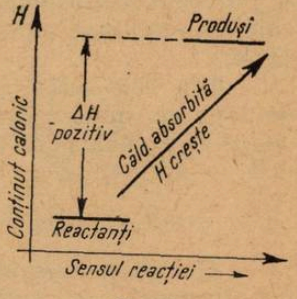


Fig. 1

* Majoritatea reacțiilor au loc la presiune atmosferică, iar variațiile de căldură la presiune constantă se notează cu q_p. Căldura absorbită la presiune constantă q_p este egală cu ΔH în aceeași reacție, de aceea de multe ori ΔH se consideră căldură de reacție.

Calculînd în acelaşi sistem efectul caloric în cazul reacţiei (2) obţinem :

$$\Delta H = H_{CO_2} - [H_{CO} + H_{\frac{1}{2}O_2}]$$

$$\Delta H = H_{CO_2} - H_{CO} - H_{\frac{1}{2}O_2}$$

Cum reacţia eliberează căldură rezultă că procesul de reacţie are în acest caz un conţinut caloric mai coborît decît al reactanţilor, deci ΔH va fi negativ

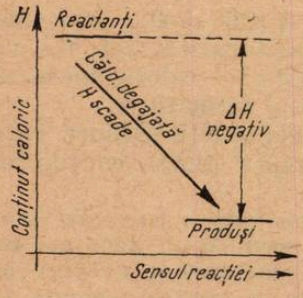


Fig. 2

$$CO_{(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \quad H = -67{,}6 \text{ Kcal/mol.}$$

Diagramal acest fenomen poate fi reprezentat ca în fig. 2, din care rezultă că în cazul reacţiei exoterme căldura de reacţie este negativă deci $\Delta H < 0$.

S-a menţionat mai înainte că, conţinutul caloric măsoară energia înmagazinată într-o substanţă în cursul formării ei. De aici se deduce că prin căldura de formare a unei substanţe se înţelege creşterea conţinutului caloric al sistemului, ΔH, la formarea unui mol de substanţă din elemente sau în alţi termeni, căldura de formare a unui compus este efectul termic al reacţiei de formare a unui mol de compus, din elementele componente. În calcularea căldurii de formare se consideră elementele în starea standard (la 25° C şi presiunea de 1 at).

Întrucît conţinutul caloric al unui element în starea standard s-a convenit să se considere nul, conţinutul caloric al unui compus va fi egal cu căldura lui de formare.

A. L. Lavoasier şi P. S. de Laplace au observat că căldura de formare a unui mol de CO_2 din grafit şi oxigen este $-94{,}05$ Kcal, iar la descompunerea unui mol de CO_2 se absoarbe tot 94,05 Kcal. Comparînd apoi căldura de descompunere şi a altor compuşi cu căldura de formare a acestora, cei doi mari chimişti au ajuns la concluzia că : *„cantitatea de căldură necesară pentru a descompune o combinaţie chimică în elementele ei componente este egală cu cantitatea de căldură dezvoltată cînd această combinaţie se formează din componentele ei"*. Aceasta constituie prima lege a termochimiei, care este cunoscută sub numele de *legea lui Lavoasier şi Laplace* (1780).

Din cele scrise mai înainte s-a constatat că reacţia (4) este egală de fapt cu suma reacţiilor : (1) + (2) + (3), iar din bilanţul termic s-a dedus că şi căldura de reacţie ΔH_4 este egală cu suma căldurilor de reacţie : $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$.

$$\Delta H_4 = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 = 31{,}4 + (-67{,}6) + (-57{,}8) = -94 \text{ Kcal.}$$

Din acest exemplu se poate deduce că în cazul unei reacţii ce poate fi exprimată — ca sumă algebrică a unor secvenţe de 2 sau mai multe reacţii, căldura de reacţie este suma algebrică a căldurilor acestor reacţii. Această generalizare este cunoscută sub numele de *legea lui Hess* sau legea aditivităţii căldurilor de reacţii care se enunţă astfel : suma efectelor termice ale unui şir de ecuaţii chimice consecutive este egală cu suma

efectelor termice ale oricărui alt şir de reacţii avînd aceleaşi substanţe iniţiale şi finale.

Din legea lui Hess se deduce foarte simplu că efectul termic total al unei reacţii este constant, indiferent dacă reacţia se produce direct sau în mai multe etape, deci căldura de formare a unei substanţe nu depinde de metoda de obţinere a acesteia.

Cu ajutorul bombei calorimetrice s-au măsurat căldurile de reacţie ale unui mare număr de procese chimice. În tabelul de mai jos sînt indicate căldurile de formare a celor mai uzuale substanţe :

Ecuaţia reacţiei chimice		Căldura de reacţie
Reactanţii	Produs rezultat	
a	b	
$H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow$	H_2O (v)	— 57,8 Kcal/mol H_2O (v)
$H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow$	H_2O (l)	— 68,3 Kcal/mol H_2O
$S_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow$	SO_2	— 71 Kcal/mol SO_2
$H_{2(g)} + S_{(s)} + 2O_{2(g)} \rightarrow$	H_2SO_4	— 194 Kcal/mol H_2SO_4
$\frac{1}{2} N_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow$	$NO_{(g)}$	+ 21,6 Kcal/mol NO
$\frac{1}{2} N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow$	$NO_{2(g)}$	+ 8,1 Kcal/mol NO_2
$\frac{1}{2} N_{2(g)} + \frac{3}{2} H_{2(g)} \rightarrow$	$NH_{3(g)}$	— 11 Kcal/mol NH_3
$C_{(s)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow$	$CO_{(g)}$	— 26,4 K cal/mol CO
$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow$	$CO_{2(g)}$	— 94 Kcal/mol CO_2
$2C_{(s)} + 3H_{2(g)} \rightarrow$	$C_2H_{6(g)}$	— 20,2 Kcal/mol C_2H_6
$3C_{(s)} + 4H_{2(g)} \rightarrow$	$C_3H_{8(g)}$	— 24,8 Kcal/mol C_3H_8
$\frac{1}{2} H_{2(g)} + \frac{1}{2} I_{2(g)} \rightarrow$	$HI_{(g)}$	+ 6,2 Kcal/mol HI

Valorile măsurate pentru o serie de reacţii au o deosebită importanţă întrucît multe călduri de reacţii nemăsurate pot fi deduse aplicînd legea lui Hess.

De exemplu : ne propunem să determinăm căldura de combustie a NO, folosind valorile trecute în tabelul de mai sus.

$$NO_{(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \qquad \Delta H_5 = ? \qquad (5)$$

Reacţia (5) se poate obţine combinînd două din reacţiile cuprinse în tabel şi anume :

$$\frac{1}{2}N_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow NO_{(g)} \qquad \Delta H_6 = +21{,}6 \text{ Kcal/mol} \qquad (6)$$

şi

$$\frac{1}{2}N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \qquad \Delta H_7 = +8{,}1 \text{ Kcal/mol.} \qquad (7)$$

Deoarece NO este un reactant în reacţia (5) se va inversa reacţia (6) şi se va schimba totodată şi semnul algebric a lui H_6, conform legii Lavoasier Laplace, obţinem deci :

$$NO_{(g)} \rightarrow \frac{1}{2}N_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \qquad \Delta H_8 = -21{,}6 \text{ Kcal/mol} \qquad (8)$$

Însumînd reacţiile (7) şi (8) se va ajunge la reacţia totală (5)

$$NO_{(g)} \rightarrow \frac{1}{2}N_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \qquad \Delta H_8 = -21{,}6 \text{ Kcal/mol}$$

$$\frac{1}{2}N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \qquad \Delta H_7 = +8{,}1 \text{ Kcal/mol.}$$

Reacţia totală :

$$NO_{(g)} + O_{2(g)} + \frac{1}{2}N_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} + \frac{1}{2}N_{2(g)}$$

sau

$$NO_{(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \qquad \Delta H_5 = -21{,}6 \text{ Kcal/mol} + 8{,}1 \text{ Kcal/mol}$$

$$\Delta H_5 = -13{,}5 \text{ Kcal/mol de NO}$$

Acelaşi sistem poate fi utilizat şi în cazuri mai complicate ca de exemplu oxidarea amoniacului :

$$NH_{3(g)} + \frac{7}{4}O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} + \frac{3}{2}H_2O_{(g)} \qquad \Delta H_9 = ? \qquad (9)$$

Toate cele trei substanţe : $NH_{3(g)}$; $NO_{2(g)}$ şi $H_2O_{(g)}$ găsindu-se în tabel se poate deduce ΔH_9 în modul următor :

$$\frac{1}{2}N_{2(g)} + \frac{3}{2}H_{2(g)} \rightarrow NH_{3(g)} \qquad \Delta H_{10} = -11 \text{ Kcal/mol} \qquad (10)$$

$$\frac{1}{2}N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \qquad \Delta H_{11} = +8{,}1 \text{ Kcal/mol} \qquad (11)$$

$$H_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(g)} \qquad \Delta H_{12} = -57{,}8 \text{ Kcal/mol.} \qquad (12)$$

Calculînd suma căldurilor de reacţii conform regulei stabilite anterior obţinem :

$$-\Delta H_{10} + \Delta H_{11} + \frac{3}{2}\Delta H_{12} = 11 \text{ Kcal/mol} + 8{,}1 \text{ Kcal/mol} +$$

$$\frac{3}{2}(-57{,}8) \text{ Kcal/mol} = -67{,}6 \text{ Kcal/mol.}$$

În concluzie, putem prevedea şi determina numeric căldura unei reacţii, dacă fiecare compus din reacţia respectivă se găseşte în coloana (b) a tabelului. De aici deducem comoditatea unui astfel de calcul, folosind colecţia de valori măsurate anterior de către chimişti.

În continuare se va arăta cum putem prevedea schimbările energetice ale unor reacţii chimice. Pentru a înţelege cu mai multă uşurinţă acest fenomen, se va porni de la exemple simple cunoscute din studiul fizicii.

Astfel, lovind o bilă A, efectuăm un lucru mecanic L, care se transmite bilei A, sub formă de energie cinetică (de mişcare) E_c. Deci lucrul mecanic L, determină energia cinetică E_c şi în acest caz este egal cu ea $L = E_c$.

Dacă bila A în mişcarea ei loveşte o altă bilă B ce iniţial se află în repaus, are loc o ciocnire în urma căreia vitezele bilelor sînt astfel încît energia cinetică cîştigată de bila B este egală cu energia cinetică pierdută de bila A :

$$E_C = E'_{CA} + E'_{CB}$$

dar :
$$E_C = L$$

deci :
$$L = E_C = E'_{CA} + E'_{CB} \qquad (13)$$

Ca urmare se constată că în tot cursul acestor transformări energia s-a conservat.

Urmărind conservarea energiei în cazul unui resort, vom observa că şi de data aceasta pentru a-l întinde trebuie să efectuăm un lucru mecanic, pe care să-l notăm cu L_i. Lăsînd liber resortul acesta revine la dimensiunile iniţiale posedînd deci energia cinetică pe care s-o notăm cu E_{c3}. Valoarea energiei cinetice E_{c3} este însă dependentă de lucrul mecanic L_i efectuat la întinderea resortului.

Se constată experimental că $L_i = E_{c3}$, deci energia s-a conservat şi în acest caz. Se naşte însă întrebarea : atît timp cît resortul a fost întins sub acţiunea forţei F_i corespunzătoare lui L_i, posedă, sau nu energie? Răspunsul este clar : de vreme ce resortul este capabil să efectueze el singur un lucru mecanic pentru a reveni la dimensiunile iniţiale, înseamnă că posedă o energie de poziţie (numită energie potenţială) E_{p2}, rezultată în urma înmagazinării lucrului mecanic efectuat la întinderea resortului.

Deci se poate scrie : $L_i = E_{p2} = E_{c3}$ (14) ceea ce ne conduce la concluzia că energia se conservă pe tot parcursul timpului.

Reacţiile (13) şi (14) au fost verificate experimental, deoarece lucrul mecanic efectuat este întotdeauna măsurabil, iar energiile cinetice se pot determina în funcţia de masa şi viteza corpurilor în momentele respective.

În mod analog se conservă energia şi în reacţiile chimice. De exemplu : în electroliza apei se folosesc 68,3 Kcal, echivalentul energiei electrice, pentru a descompune un mol de apă :

$$H_2O_{(e)} + 68{,}3 \underset{W}{\text{ Kcal}} \rightarrow H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)}$$

Pe de altă parte măsurînd cu bomba calorimetrică căldura de reacţie a hidrogenului cu oxigenul se obţine tot 68,3 Kcal/mol de H_2O format.

$$H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow H_2O + (+ \underset{Q}{68{,}3}) \text{ Kcal}$$

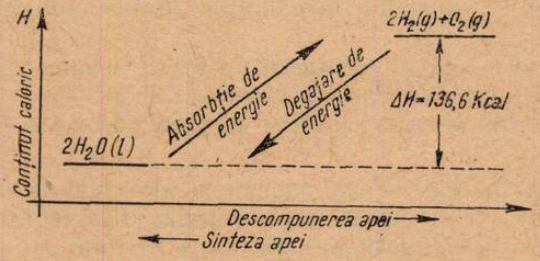


Fig. 3

De aici se deduce că adăugînd o cantitate de energie W într-un sistem, în orice moment ulterior această energie poate fi recîştigată sub formă de căldură Q. Deci : $W = Q$, rezultatul final fiind acelaşi şi anume conservarea energiei. Atunci cînd apa se descompune trebuie consumată energia în scopul creşterii conţinutului caloric, iar cînd hidrogenul arde în oxigen, conţinutul caloric scade şi se eliberează energie. Energia W a fost înmagazinată în substanţele chimice hidrogen H_2 şi oxigen O_2, iar capacitatea de înmagazinare de energie se numeşte conţinut caloric.

Dacă se iau în considerare toate formele diferite de energie se deduce uşor că energia se conservă în orice moment al unei reacţii chimice.

Experienţele au dovedit că atribuind un conţinut caloric caracteristic fiecărei substanţe chimice, în toate reacţiile chimice se respectă legea conservării energiei.

În continuare se va stabili ce reprezintă conţinutul caloric molecular. Pentru aceasta este necesar însă să se cunoască toate formele de energie moleculară şi să se stabilească un model prin care să se reprezinte molecula. Fie acest model format din 3 bile legate între ele prin arcuri, care reprezintă legătura dintre atomi.

Mişcările pe care le pot efectua moleculele sînt de mai multe tipuri : translaţie, rotaţie (fig. 4 b) şi vibraţie (fig. 4 c).

În toate aceste cazuri, moleculele posedă atît energie cinetică cît şi energie potenţială, determinată de forţele care acţionează între molecule. Forţa de atracţie dintre molecule, coeziunea, se ştie că are o valoare medie foarte mică în cazul stării gazoase, o valoare medie mai mare în stare lichidă şi o valoare mai mare în stare solidă cînd spaţiile intermoleculare sînt mici.

În molecule există energie chimică care este legată de forţele ce menţin atomii strîns uniţi în moleculă, forţe de legătură chimică.

Nu se poate omite nici faptul că fiecare atom dintr-o moleculă posedă o energie, o parte asociată electronilor, iar cealaltă parte asociată

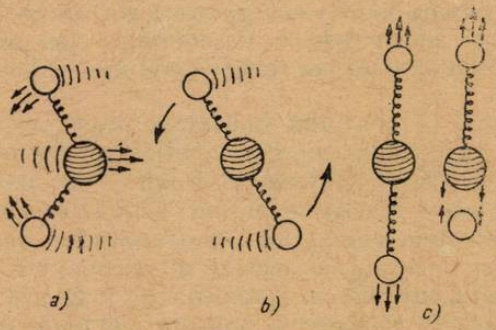


Fig. 4

nucleului. Electronii unui atom posedă atît energie potenţială cît şi energie cinetică datorită atît atracţiei dintre ei şi nucleu cît şi respingerii dintre ei. Suma algebrică a acestor energii — cinetică şi potenţială — reprezintă energia de ionizare, (energie necesară eliminării unui electron dintr-un atom).

În sfîrşit în nucleul fiecărui atom există o rezervă de energie, legată de forţele care ţin particulele nucleare strîns unite într-un volum foarte mic. Cum însă în timpul reacţiilor chimice nucleul rămîne intact şi aparent neinfluenţat, energia nucleară nu se modifică. Drept urmare firească contribuţia energiei nucleare la conţinutul caloric molecular, în general, nu intră în calculele efectuate de chimişti.

În concluzie, conţinutul caloric molecular este reprezentat de suma tuturor formelor de energie moleculară enumerate anterior, cu excepţia energiei nucleare. Cum într-un mol de substanţă sînt $6{,}02 \cdot 10^{23}$ molecule de un anumit tip, conţinutul caloric molar îl determinăm făcînd produsul dintre conţinutul caloric al unei molecule şi numărul lui Avogadro, sau ceea ce este acelaşi lucru, însumînd conţinutul caloric molecular a $6{,}02 \cdot 10^{23}$ molecule.

Cunoscînd din ce este alcătuit conţinutul caloric al unei substanţe se pot uşor explica schimbările energetice ale stărilor de agregare în timpul încălzirii.

Se presupune iniţial că temperatura substanţei este coborîtă, în acest caz substanţa se află în satre solidă. Încălzind solidul, energia cinetică a moleculelor creşte şi concomitent creşte şi amplitudinea mişcărilor de oscilaţii ale moleculelor în jurul poziţiei lor de echilibru în cristal. În modul acesta regularitatea cristalului este perturbată cu atît mai mult cu cît temeratura este mai ridicată. La o anumită temperatură, energia cinetică a particulelor produce o mişcare atît de pronunţată încît reţeaua cristalină nu mai este stabilă. Din acest moment substanţa începe să se topească, deci se produce schimbarea fazei solide în faza lichidă.

În stare lichidă moleculele au o mobilitate mult mai mare, mişcările de translaţie şi de rotaţie sînt mult mai lejere. O dată cu încălzirea lichidului, energia cinetică a moleculelor se măreşte şi acestea tind să se mişte în tot spaţiul ce le stă la dispoziţie. Un număr considerabil de

molecule, au însă posibilitatea să părăsească regiunea lichidului, unde energia potențială este minimă și să treacă în atmosferă sub formă de vapori. Astfel, se explică vaporizarea care este o altă tranziție de fază.

Continuînd să se încălzească din ce în ce mai puternic substanța se va atinge temperatura la care energia cinetică de vibrație, translație și rotație devin comparabile cu energia de legătură chimică. Aceasta este temperatura la care moleculele se descompun. Așa se explică de ce la temperaturi foarte ridicate nu pot rezista decît moleculele cele mai simple (biatomice).

În sfîrșit dacă se continuă încălzirea mult peste temperatura de descompunere a substanței, energia cinetică crește atît de mult încît este capabilă să distrugă nucleele atomilor. Din acest moment încep reacțiile nucleare, adică reacții ce produc modificarea nucleelor.

Comparînd efectele energetice ale tranzițiilor de fază cu cele ale reacțiilor chimice se constată că acestea din urmă sînt de 10—100 de ori mai mari decît acelea cuprinse în tranzițiile de fază. De exemplu raportul între căldura molară de formare a apei din elemente (o reacție chimică) și căldura de topire a gheței (o tranziție de fază) este aproximativ 50.

Comparînd mai departe, reacțiile chimice cu cele nucleare, se observă că în reacțiile chimice nucleele atomilor rămîn intacte, schimbările fiind legate de electronii situați în afara nucleului, iar în reacțiile nucleare au loc schimbări în nuclee cu efecte energetice deosebit de mari.

În concluzie se poate preciza că reacțiile chimice care constituie partea esențială a chimiei sînt întotdeauna însoțite de efecte energetice de o importanță practică și industrială covîrșitoare.

BIBLIOGRAFIE

G. *D. Nenițescu* — Chimie generaăl.
F Beal, M. Zapan — Chimie anorganică.
L. Oniciu, I. Zsako — Chimie fizică, vol. II.
Erdey Gruz Tibor, Schay Geza — Chimie fizică teoretică, volumul I.
F. A. Cotton, L. D. Lynch — Chemistry an investigative approach.
Tr. Nicolescu, V. Radcenco — Probleme de termotehnică.

CENTRUL DE GREUTATE ȘI TEOREMELE FUNDAMENTALE ALE MECANICII

IUNIAN CHELU, I. C. P. București

Teoremele fundamentale exprimate cu ajutorul noțiunii de centru de greutate permit aprofundarea multor fenomene legate de evoluția sistemelor de puncte materiale. În cele ce urmează, după prezentarea celor trei teoreme (teorema impulsului, teorema momentului cinetic și teorema energiei) se vor analiza cîteva probleme tipice pentru a demonstra eficiența operării cu acestea.

I. **Centrul de greutate** este centrul forțelor paralele care se exercită din partea pămîntului asupra punctelor materiale ale sistemului.

Pentru determinarea acestui punct, alegem ca sistem de referință sistemul X, Y, Z, O din fig. 1, unde OZ este verticală, iar punctele A_1, A_2, A_3

sînt punctele materiale ale sistemului, cu masele m_1, m_2, m_3. Poziţiile lor sînt definite prin vectorii de poziţie $\vec{r}_1$, $\vec{r}_2$, $\vec{r}_3$.

Rezultanta greutăţilor punctelor sistemului are modulul:

$$G = G_1 + G_2 + G_3.$$

Punctul ei de aplicaţie (determinat de vectorul de poziţie $\vec{r}_c$) rezultă din teorema lui Varignon (vezi Revista de fizică şi chimie nr. 2/1970):

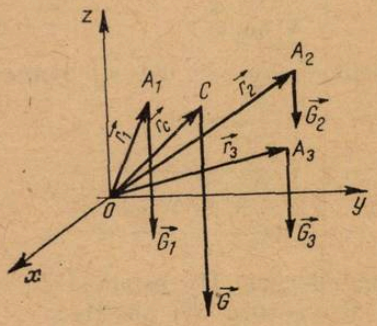


Fig. 1

Suma momentelor forţelor $\vec{G}_i$ faţă de punctul O este egală cu momentul rezultantei $\vec{G}$ faţă de acelaşi punct, adică:

$$\vec{r} \times \vec{G} = \sum_{i=1}^{3} \vec{r}_i \times \vec{G}_i$$

sau:

$$\vec{r} \times m\vec{g} = \sum_{i=1}^{3} \vec{r}_i \times m_i\vec{g}$$

sau:

$$m\vec{r} \times g = \left(\sum_{i=1}^{3} m_i \vec{r}_i \right) \times \vec{g}$$

$$\left[m\vec{r} - \sum_{i=1}^{3} m_i \vec{r}_i \right] \times \vec{g} = 0.$$

De aici rezultă paralelismul vectorului $m\vec{r} - \sum_{i=1}^{3} m_i \vec{r}_i$, cu vectorul $\vec{g}$, paralelism care se mai poate scrie şi astfel:

$$m\vec{r} - \sum_{i=1}^{3} m_i \vec{r}_i = a\vec{g}$$

unde a este un scalar.

De aici se poate explicita vectorul $\vec{r}$:

$$\vec{r} = \frac{\sum_{i=1}^{3} m_i \vec{r}_i}{m} + \lambda \vec{g}$$

unde:

$$\lambda = \frac{a}{m}$$

Dacă se notează vectorul $\frac{\sum_{i=1}^{3} m_i \vec{r}_i}{m}$ cu $\vec{r}_c$, atunci expresia vectorului $\vec{r}$ devine:

$$\boxed{\vec{r} = \vec{r}_c \times \lambda \vec{g}} \qquad (1)$$

Ea reprezintă ecuația unei drepte (D), paralelă cu vectorul $\vec{g}$ și care trece prin punctul C definit de vectorul de poziție:

$$\boxed{\vec{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^{3} m_i \vec{r}_i}{m}} \qquad (2)$$

Această dreaptă a primit numele de axă centrală a sistemului de vectori $\vec{G}_i$, iar punctul C, numele de centru de greutate. Punctul M, definit de vectorul $\vec{r}$ este punctul curent al axei centrale, iar λ un parametru.

Din expresia (2) rezultă că poziția centrului de greutate nu este determinată de direcția vectorului $\vec{g}$, ci numai de modul în care este distribuită masa sistemului între punctele lui, de aceea centrul de greutate se numește și centru de masă.

Poziția acestui centru nu depinde nici de sistemul de referință, el fiind un element intrinsec sistemului material. Pentru a arăta acest fapt

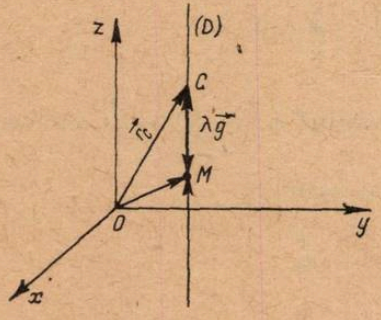


Fig. 2

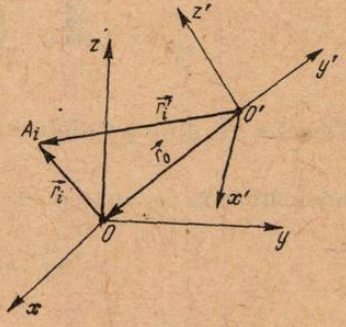


Fig. 3

să schimbăm sistemul și fie O' noua origine. Să notăm $\vec{O'O} = \vec{r}_0$.

Poziția punctului A_i față de noul sistem este determinată de vectorul $\vec{r}_i$:

$$\boxed{\vec{r}_i = \vec{r}_0 + \vec{r}_i}$$

În aceste condiții vectorul de poziție al centrului de masă va fi :

$$\vec{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i (\vec{r}_0 + \vec{r}_i)}{\sum_{i=1}^{n} m_i} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}_0}{\sum_{i=1}^{n} m_i} + \frac{\Sigma m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}$$

Sau : $\vec{r}_c = \vec{r}_0 + \vec{r}_c$

Această relație demonstrează că *centrul* nu și-a schimbat poziția, întrucît legea de trecere de la un sistem la celălalt este aceeași pentru el ca și pentru oricare punct A_i.

II. — Teorema impulsului și centrul de masă al sistemului.

Din relația (2) rezultă prin derivarea în raport cu timpul următoarea egalitate :

$$m\dot{\vec{r}}_c = \sum_{i=1}^{n} m_i \dot{\vec{r}}_i$$

au :

$$\boxed{\vec{H}_c = \sum_{i=1}^{n} \vec{H}_i = \vec{H}} \qquad (3)$$

a cărei interpretare este următoarea : suma impulsurilor punctelor sistemului, $(\vec{H}_i)$, este egală cu impulsul centrului de masă, $(\vec{H})$, în care s-a concentrat întreaga masă a sistemului.

Pe de altă parte teorema impulsului exprimată prin relația :

$$\dot{\vec{H}} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i \qquad (4)$$

arată că variația impulsului unui sistem de puncte este egală cu suma forțelor exterioare aplicate sistemului. Introducînd în ea expresia lui $\vec{H}$ din (3) se obține :

$$\boxed{\dot{\vec{H}}_c = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i} \qquad (5)$$

sau

$$m\vec{a}_c = \vec{R}$$

De aici rezultă că centrul maselor se mișcă întotdeauna ca și cînd în el ar fi concentrată întreaga masă și întreaga acțiune exterioară ($\vec{R}$).

III. — **Teorema momentului cinetic și centrul de greutate al sistemului.**

Pentru calculul momentului cinetic al unui sistem trebuie să pornim de la relația :

$$\vec{r}_i = \vec{r}_c + \vec{r}_i'$$

care rezultă din fig. 4, și de la faptul că :

$$\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}_i = m\vec{r}_c + \Sigma m_i \vec{r}_i'$$

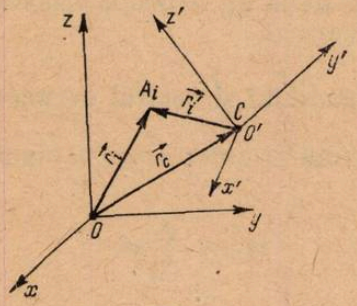


Fig. 4

Conform relației (2), față de sistemul cu originea în centrul de masă avem :

$$\Sigma m_i \vec{r}_i' = 0. \qquad (6)$$

Pe baza acestei concluzii se poate calcula momentul cinetic ($\vec{K}$), al sistemului, față de originea O.

$$\vec{K} = \sum_{i=1}^{n} \vec{r}_i \times m_i \dot{\vec{r}}_i = \sum_{i=1}^{n} (\vec{r}_c + \vec{r}_i') \times m_i (\dot{\vec{r}}_c + \dot{\vec{r}}_i')$$

Efectuînd calculele se obține :

$$\vec{K} = \sum_{i=1}^{n} \vec{r}_c \times m_i \dot{\vec{r}}_c + \sum_{i=1}^{n} \vec{r}_c \times m_i \dot{\vec{r}}_i' + \sum_{i=1}^{n} \vec{r}_i' \times m_i \dot{\vec{r}}_c + \Sigma \vec{r}_i' \times m_i \dot{\vec{r}}_i'$$

Dar :

$$\Sigma \vec{r}_c \times m_i \dot{\vec{r}}_c = \vec{r}_c \times \dot{\vec{r}}_c \Sigma m_i = \vec{r}_c \times m\dot{\vec{r}}_c$$

$$\Sigma r_c \times m\dot{\vec{r}}_i' = 0 \text{ (conf. rel. 6)}$$

$$\Sigma \vec{r}_i' \times m_i \dot{\vec{r}}_c = \Sigma (m_i \vec{r}_i') \times \dot{\vec{r}}_c = 0 \text{ (conf. rel. 6)}$$

Deci :

$$\boxed{\vec{K} = \vec{r}_c \times m\dot{\vec{r}}_c + \vec{K}_c} \tag{7}$$

unde $\vec{K}_c = \Sigma \vec{r}_i \times m_i \dot{\vec{r}}_i$ şi reprezintă momentul cinetic al sistemului faţă de C.

Relaţia (7) arată că momentul cinetic al unui sistem este suma momentului centrului de masă faţă de origine şi a momentului sistemului faţă de centru.

Cea mai mică valoare a lui $\vec{K}$ se realizează numai faţă de sistemele de referinţă cu originea în C, pentru că :

$$\vec{r}_c = 0 \text{ şi deci : } \vec{K}_{min} = \vec{K}_c$$

Teorema momentului cinetic exprimată prin relaţia :

$$\dot{\vec{K}} = \sum_{i=1}^{n} \mathfrak{M}_0 (\vec{F}_i) \tag{8}$$

se enunţă astfel : derivata în raport cu timpul a momentului cinetic al unui sistem faţă de originea sistemului de referinţă, este egală cu suma momentelor forţelor exterioare faţă de acelaşi punct.

Aplicînd această teoremă expresiei (7) se obţine :

$$\dot{\vec{r}}_c \times m\dot{\vec{r}}_c + \vec{r}_c \times m\ddot{\vec{r}}_c + \dot{\vec{K}}_c = \Sigma \mathfrak{M}_0 (\vec{F}_i).$$

Dar :

$$\dot{\vec{r}}_c \times m\dot{\vec{r}}_c = 0$$

şi :

$$\sum_{i=1}^{n} \mathfrak{M}_0 (F_i) = \sum_{i=1}^{n} \vec{r}_i \times \vec{F}_i = \sum_{i=1}^{n} (\vec{r}_c + \vec{r}_i) \times \vec{F}_i = \vec{r}_c \times \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i + \sum_{i=1}^{n} \vec{r}_i \times \vec{F}_i$$

Deci :

$$\vec{r}_c \times m\ddot{\vec{r}}_c + \dot{\vec{K}}_c = \vec{r}_c \times \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i + \sum_{i=1}^{n} \vec{r}_i \times \vec{F}_i$$

Dar, conform relaţiei (4) avem :

$$\vec{r}_c \times m\ddot{\vec{r}}_c = \vec{r}_c \times \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i.$$

Deci :

$$\boxed{\dot{\vec{K}}_c = \Sigma \mathfrak{M}_c (\vec{F}_i)} \tag{9}$$

Aşadar, derivata momentului cinetic al sistemului faţă de centrul de masă este egală cu suma momentelor forţelor exterioare faţă de centrul

maselor. Această proprietate a lui $\vec{K}$ este analoagă celei exprimate de relația (4) pentru $\vec{H}$.

IV. — Teorema energiei și centrul de greutate.

Pentru calculul energiei se pornește de la relația $\vec{r}_i = \vec{r}_c + \vec{r}'_i$, care prin derivare în raport cu timpul, devine :

$$\dot{\vec{r}}_i = \dot{\vec{r}}_c + \dot{\vec{r}}'_i$$

Introducînd această expresie a lui $\dot{\vec{r}}_i$ în formula energiei cinetice a sistemului, vom obține :

$$E = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} m_i \dot{\vec{r}}_i^2 = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} m_i \dot{\vec{r}}_c^2 + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} m_i \dot{\vec{r}}_i'^2 + \Sigma m_i \dot{\vec{r}}_c \dot{\vec{r}}'_i$$

sau :

$$\boxed{E = \frac{1}{2} m \dot{\vec{r}}_c^2 + E_c} \qquad (10)$$

pentru că :

$$\sum_{i=1}^{n} m_i \dot{\vec{r}}_c \dot{\vec{r}}'_i = \dot{\vec{r}}_c \sum_{i=1}^{n} m_i \dot{\vec{r}}'_i = 0$$

Am notat cu $E_c = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} m_i \dot{\vec{r}}_i'^2$ și reprezintă energia cinetică a sistemului față de centrul de masă.

Așadar, energia cinetică a unui sistem de puncte materiale față de sistemul cu originea în O este egală cu energia centrului de masă, sumată cu energia cinetică a punctelor față de centrul de masă. Teorema energiei exprimată prin relația :

$$\mathrm{d}E = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i \mathrm{d}\vec{r}_i \qquad (11)$$

arată că variația energiei cinetice într-un interval de timp $\mathrm{d}t$ este egală cu lucrul mecanic efectuat în același timp, atît de forțele interioare cît și de forțele exterioare.

Dacă în această expresie se introduce energia sub forma (10), se obține :

$$m \dot{\vec{r}}_c \mathrm{d}\dot{\vec{r}}_c + \mathrm{d}E_c = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i \mathrm{d}\vec{r}_i$$

dar :

$$\mathrm{d}\dot{\vec{r}}_c = \ddot{\vec{r}}_c \mathrm{d}t$$

şi

$$d\vec{r}_i = d\vec{r}_c + d\vec{r}'_c$$

Deci :

$$m\vec{r}_c \ddot{\vec{r}}_c \, dt + dE_c = d\vec{r}_c \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i + \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i \, d\vec{r}'_i$$

Din teorema mişcării centrului de greutate rezultă că :

$$m\ddot{\vec{r}}_c = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$$

deci :

$$\boxed{dE_c = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i \, d\vec{r}'_i} \qquad (12)$$

Acest rezultat arată că teorema energiei este invariantă la o translaţie a sistemului de referinţă, care aduce originea O în centrul maselor, C.

În continuare, ca o aplicaţie a celor de mai sus, voi trata sistemul format din două puncte materiale în condiţiile izolării lui absolute. Mai întîi în cazul în care singura formă de interacţie este ciocnirea, apoi în cazul în care interacţia este de tip gravitaţional şi în sfîrşit în cazul în care interacţia dintre particule este elastică.

V. — Sistemul format din două puncte materiale.

A. Fie A şi B două puncte materiale de mase constante m_1 şi m_2 ale căror poziţii faţă de sistemul de referinţă sînt definite prin vectorii $\vec{r}_1$ şi $\vec{r}_2$ ca în fig. 5. Punctele se deplasează rectiliniu şi uniform cu vitezele $\vec{v}_1$, respectiv $\vec{v}_2$.

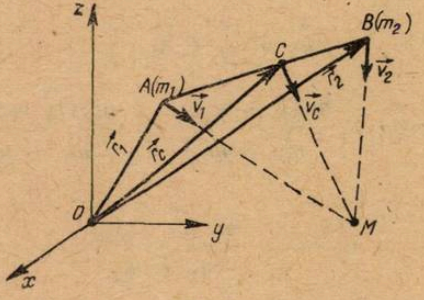


Fig. 5

În condiţiile de mai sus impulsul total al sistemului se conservă :

$$\vec{H} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = \text{const.}$$

Conform relației (3) se poate scrie:

$$\vec{H} = \vec{H}_c = (m_1 + m_2)\,\vec{v}$$

de unde:

$$\vec{v} = \frac{\vec{H}}{m_1 + m_2} = \text{const.}$$

ceea ce înseamnă că la un sistem care-și conservă impulsul, centrul de masă se deplasează rectiliniu și uniform, indiferent de interacțiunile care apar între punctele A și B.

Dacă cele două puncte se întîlnesc în M și se ciocnesc perfect plastic atunci, pe baza teoremei conservării impulsului:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\,\vec{v}$$

de unde se poate deduce viteza comună:

$$\vec{v} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2} = \vec{v}_c$$

Este interesant de observat că această viteză este chiar viteza centrului de masă, iar traiectoria după ciocnire este aceeași cu traiectoria anterioară a centrului, dat fiind faptul că nici o interacție din sistem nu poate să i-o perturbe. Ciocnirea are loc chiar în momentul în care centrul C trece prin M.

O altă proprietate interesantă a sistemului este faptul că direcția AB suferă o translație pe direcția de mișcare a centrului de masă, chiar cu viteza $\vec{v}_c$.

Pentru a demonstra această proprietate să calculăm vitezele relative ale punctelor A și B față de centrul maselor:

$$\vec{u}_1 = \vec{v}_1 - \vec{v}_c$$

$$\vec{u}_2 = \vec{v}_2 - \vec{v}_c$$

$$\vec{u}_1 = \vec{v}_1 - \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_2\,(\vec{v}_1 - \vec{v}_2)}{m_1 + m_2}$$

$$\vec{u}_2 = -\frac{m_1\,(\vec{v}_1 - \vec{v}_2)}{m_1 + m_2}$$

De aici rezultă că $\vec{u}_1$ și $\vec{u}_2$ au aceeași direcție și sensuri contrare, ceea ce înseamnă că punctele ori se apropie, ori se îndepărtează de centru pe direcția AB și nu ies din această dreaptă. De aici rezultă că mișcarea sistemului constă într-o translație caracterizată de vectorul $\vec{v}_c$ și o depla-

sare pe AB. Din relația (10) mai rezultă încă o proprietate interesantă. Pentru asta să calculăm variația energiei sistemului în timpul ciocnirii:

$$\Delta E = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2)\, v^2}{2} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \cdot \frac{(v_1 - v_2)^2}{2}$$

Dar energia sistemului față de centrul de masă este:

$$E_c = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}$$

sau:

$$E_c = \frac{m_1 m_2^2}{(m_1 + m_2)^2} \cdot \frac{(v_1 - u_2)^2}{2} + \frac{m_1^2 m_2}{(m_1 + m_2)^2} \cdot \frac{(v_1 - u_2)^2}{2}$$

sau:

$$E_c = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \cdot \frac{(v_1 - v_2)^2}{2} \left[\frac{m_1}{m_1 + m_2} + \frac{m_2}{m_1 + m_2} \right] = \Delta E.$$

Interpretarea acestui rezultat este următoarea: sistemul cedează prin ciocnirea perfect plastică exact energia pe care o au corpurile față de centrul de masă.

La un rezultat și mai general se poate ajunge dacă se ține seama de faptul că la sistemul care-și conservă impulsul și masa, viteza centrului de masă este constantă: indiferent ce procese se produc în interiorul sistemului, rezerva de energie a centrului de masă nu va fi *atacată*.

B. Fie sistemul format din două corpuri, în care forțele de interacție sînt de tipul celor gravitaționale. În această categorie pot fi considerate ca exemple sistemele: soare-pămînt, stelele duble, atomul de hidrogen sau atomul de heliu ionizat, molecula biatomică.

Pentru studiul unui astfel de sistem considerat izolat, deci cu impulsul constant, vom alege un sistem de referință cu originea în centrul de masă. Față de un alt sistem, centrul de masă va avea o mișcare rectilinie și uniformă cum am arătat mai sus. Pentru sistemul soare-pămînt această mișcare a fost observată, el se deplasează cu 20 km/s spre un punct din apropierea stelei Vega, numit Apex.

Așadar, dacă $\vec{r}_1$ și $\vec{r}_2$ sînt vectorii de poziție ai punctelor A și B față de C, ecuațiile de mișcare ale acestora vor fi:

$$m_1 \ddot{\vec{r}}_1 = K \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}_0 \; ; \; m_2 \ddot{\vec{r}}_2 = -K \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}_0$$

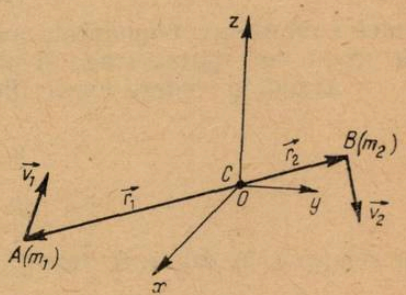


Fig. 6

unde $\vec{r}_0$ este versorul direcției AB, iar $|\vec{r}| = |\vec{r}_1| + |\vec{r}_2|$ (fig. 6).

Conform relației (2) dacă $\vec{r}_c = 0$ atunci:

$$m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 = 0$$

sau :

$$(m_1 r_1 - m_2 r_2)\,\vec{r}_0 = 0$$

De unde :

$$\boxed{m_1 r_1 = m_2 r_2} \tag{13}$$

Calculînd valoarea lui r pe baza acestui rezultat se obţine :

$$r = r_1 + r_2 = \frac{m_1 + m_2}{m_2} r_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} r_2$$

Înlocuind aceste valori în ecuaţiile de mişcare se obţine :

$$\ddot{\vec{r}}_1 = K \frac{m_1 m_2^3}{(m_1 + m_2)^2 r_1^2} \vec{r}_0 \qquad \ddot{\vec{r}}_2 = -K \frac{m_1^3 m_2}{(m_1 + m_2)^2 r_2^2} \vec{r}_0$$

ceea ce înseamnă că punctele A şi B se mişcă faţă de noul sistem ca şi cînd ar fi atrase gravitaţional de centrul maselor în care s-ar găsi o masă atractivă egală cu :

$$m_A = \frac{m_2^3}{(m_1 + m_2)^2}$$

pentru punctul A, şi o masă atractivă egală cu :

$$m_B = \frac{m_1^3}{(m_1 + m_2)^2}$$

pentru punctul B.

Ori se ştie că traiectoria unui punct aflat sub influenţa unui centru gravitaţional este o conică, iar legea de mişcare este legea ariilor. În acest caz cele două puncte se vor mişca pe două conice de acelaşi gen, astfel încît C va fi unul din focare. Identitatea de gen a acestora rezultă din faptul că între ele există o relaţie de similitudine cinematică garantată de relaţia (13); centrul de similitudine este punctul C.

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{\dot{r}_1}{\dot{r}_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

Dacă vom calcula momentele cinetice ale celor două puncte faţă de centrul de masă vom putea trage şi alte concluzii.

Avînd în vedere expresiile :

$$\vec{K}_1 = \vec{r}_1 \times m_1 \dot{\vec{r}}_1$$

$$\vec{K}_2 = \vec{r}_2 \times m_2 \dot{\vec{r}}_2$$

şi relaţia (13) din care rezultă prin derivare :

$$m_1 \dot{\vec{r}}_1 = m_2 \dot{\vec{r}}_2$$

putem trage concluzia că cei doi vectori $\vec{K}_1$ şi $\vec{K}_2$ au aceeaşi direcţie. Dacă mai ţinem seama că momentul cinetic al sistemului se conservă : $\vec{K} =$

$= \vec{K}_1 + \vec{K}_2 = \text{const.}$ atunci putem conchide că orientarea celor doi vectori este constantă în raport cu sistemul de referință și de aici, că traiectoriile celor două puncte A și B se află în același plan, perpendicular pe $\vec{K}$.

C. În sfîrșit să analizăm și cazul sistemului izolat, între corpurile căruia se manifestă o interacție de tip elastic. Într-o astfel de situație se poate afla un resort perfect elastic aflat în stare de imponderabilitate, la capetele căruia sînt puse corpurile A și B. Să considerăm că în momentul inițial el este comprimat și că se află în repaus față se sistemul de referință solidarizat cu centrul de masă.

În aceste condiții sistemul își conservă impulsul, deci :

$$\vec{H}_c = \vec{H} = 0 \quad \text{sau} \quad \vec{v}_c = 0$$

Așadar, în tot timpul oscilației sistemului centrul de masă este singurul punct care va rămîne în repaus față de sistem.

Ecuațiile de mișcare ale punctelor A și B vor fi :

$$m_1\ddot{\vec{r}}_1 + K_1\left(\vec{r}_1 - \vec{r}_{01}\right) = 0$$

$$m_2\ddot{\vec{r}}_2 + K_2\left(\vec{r}_2 - \vec{r}_{02}\right) = 0$$

unde $\vec{r}_{01}$ și $\vec{r}_{02}$ sînt vectorii de poziție inițială a corpurilor.

Din relația (13) rezultă prin derivarea de două ori, că :

$$m_1\ddot{\vec{r}}_1 + m_2\ddot{\vec{r}}_2 = 0$$

De aici și din ecuațiile de mișcare se obține :

$$\frac{K_1}{K_2} = -\frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_{02}}{\vec{r}_1 - \vec{r}_{01}}$$

Din relația (13), mai putem deduce că :

$$m_1\left(\vec{r}_1 - \vec{r}_{01}\right) + m_2\left(\vec{r}_2 - \vec{r}_{02}\right) = 0$$

și deci :

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

sau :

$$\frac{m_1}{K_1} = \frac{m_2}{K_2}$$

În final avem :

$$T_1 = T_2.$$

Așadar, oscilatorii sînt la rezonanță în jurul centrului de masă.

Pentru calcularea acestei perioade se poate pleca de la faptul că energia cinetică maximă a sistemului se transformă în energie potențială maximă.

$$\frac{1}{2} m_1 \omega^2 A_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \omega^2 A_2^2 = \frac{1}{2} K (A_1 + A_2)^2$$

unde K este constanta de elasticitate a întregului sistem.

$$\omega^2 = \frac{K (A_1 + A_2)^2}{m_1 A_1^2 + m_2 A_2^2}$$

Ținînd seama că între amplitudini există relația:

$$m_1 A_1 = m_2 A_2$$

vom obține:

$$\omega^2 = K \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}$$

iar:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{K} \cdot \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}}$$

Cele de mai sus demonstrează, pe exemplul sistemului de două puncte materiale, că utilizarea conceptului *centrul de masă al unui sistem*, la descrierea proceselor mecanice ale acestor sisteme, simplifică foarte mult studiul și dă un conținut mai bogat concluziilor care se trag din acest studiu.

LECȚII MODERNE DE FIZICĂ ȘI CHIMIE*

INTRODUCERE IN STUDIUL CIMPULUI MAGNETIC

Prof. *ADRIANA ELENA TEODORU*, București

Webster definea intuiția ca „o înțelegere sau o cunoaștere nemijlocită". Intuiția implică actul de a prinde sensul, semnificația sau structura unei situații sau probleme fără o sprijinire explicită pe aparatul analitic corespunzător (Bruner — Procesul educației intelectuale).

Dezvoltarea intuiției poate fi considerată ca o componentă în învățarea creativă. Deși concluziile intuiției trebuie verificate prin metode analitice inductive sau deductive, ele reprezintă ipoteze demne de o asemenea verificare. Elevii trebuie încurajați să ghicească soluțiile cu scopul ca, în cele din urmă, să învețe să facă conjuncturi inteligente. Un elev trebuie însă să fie pregătit să recunoască plauzibilitatea ipotezelor.

* În contextul modernizării tehnologiei lecției vă propunem spre discuție o serie de exemple din experiența la catedră a profesorilor cu preocupări în acest sens.

Regulile euristice generale, folosirea analogiei, apelul la simetrie, examinarea condițiilor restrictive, vizualizarea soluției — după ce au fost folosite frecvent în școală vor fi un suport al gîndirii intuitive.

Procedeele euristice pot fi folosite acolo unde nu se dispune de procedee algoritmice.

Să considerăm, de pildă, prima lecție din tema interacțiunii electromagnetice. Scopul instructiv al lecției este de a face cunoștință elevilor cu cîmpul magnetic și de a-i înarma cu o metodă de a-l pune în evidență.

Principala metodă folosită este analogia, dar nu atît pentru a se evidenția asemănările, cît pentru a se sublinia diferențele între cîmpul electric static și cîmpul magnetic static. În afară de aceasta, mult timp (istoricește vorbind) „electricitatea" fusese considerată a nu avea nimic comun cu „magnetismul". Actualizînd această impresie greșită elevii pot să remarce prin structura materialului experimental prezentat că „electricitatea" și „magnetismul" sînt proprietăți ale aceleiași forme de manifestare a materiei, cîmpul electromagnetic.

Prin cîteva experiențe simple se pune în evidență cîmpul electrostatic, interacțiunea sarcinilor electrice.

Se reactualizează noțiunea de intensitate a cîmpului electric, ca măsură a lui și relațiile ce există între ea și celelalte mărimi fizice.

$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$, în care $\vec{E}$ este vectorul intensitate a cîmpului, $\vec{F}$ forța de interacțiune ce se exercită asupra sarcinii.

Se fac apoi cîteva experiențe analoage care pun în evidență un alt tip de interacțiune — interacțiunea magnetică și respectiv cîmpul magnetic.

Acum este realizată situația potrivită pentru a provoca o tensiune, un conflict. Se cere elevilor să stabilească o măsură a cîmpului magnetic. Grupul de elevi intră în impas, ei nu cunosc o „unitate de magnet" și deci nu au elemente ca prin extrapolare pe baza analogiei să elimine tensiunea. După un mic răgaz de timp profesorul face o experiență (celebră, de altfel — experiența lui Oersted) prin care pune în evidență interacțiunea dintre curentul electric și un ac magnetic mobil. Schimbînd cadrul experimental profesorul plasează între polii unui magnet permanent un conductor mobil. Curentul electric este cunoscut de elevi. Ei se însuflețesc căutînd în acest domeniu rezolvarea situației conflictuale. Un elev propune să se mărească intensitatea curentului, se face experiența și se observă că deplasarea conductorului mobil era mai mare decît în primul caz. Un alt elev propune să se schimbe magnetul. Magneți calitativi mai slabi sau mai puternici deviază conductorul mobil străbătut de același curent, mai puțin sau mai mult. După o astfel de pregătire psihologică s-a mărit mult receptivitatea elevilor care admit acum cu ușurință, că se poate introduce o măsură a cîmpului magnetic:

$$B = \frac{F}{Il}$$

Este dificil a explica elevilor de ce intensitatea de cîmp magnetic B, este numită „inducție magnetică". Am considerat că, pentru a nu încărca inutil lecția și a nu micșora tonusul intelectual al elevilor prin explicații lungi și întortochiate, este mai bine să anunțăm doar numele mărimii fizice nou introduse, lăsînd explicațiile pe mai tîrziu.

Se insistă mai mult pe caracterul vectorial al mărimii nou introduse. Elevii observă în urma dirijării discrete din partea profesorului că forța de interacțiune magnet-curent este perpendiculară atît pe conductor cît și pe dreapta ce trece prin polii N și S ai magnetului.

În cîmpul electrostatic forța de interacțiune între două sarcini era îndreptată după dreapta ce unea cele două sarcini. Cîmpul electric și forța erau paralele.

Pentru copii apare clar că formalismul matematic folosit în cazul cîmpului electric nu poate exprima realitatea și în cazul cîmpului magnetic. De această dată forța va trebui exprimată printr-un produs vectorial.

$$\vec{F} \text{ magnetică} = \vec{Il} \times \vec{B} \text{ spre deosebire de } \vec{F} \text{ electrică} = q\vec{E}.$$

În acest fel scopul instructiv al lecției a fost atins, s-a ajuns la definirea mărimii intensității cîmpului de inducție magnetică. Dar acest rezultat nu aparține doar efortului făcut de profesor într-o expunere, el a fost obținut de întregul colectiv de elevi.

Ei au fost puși în situația să urmărească o experiență cunoscută, să treacă rezultatele observației într-o relație matematică, cunoscută și ea. Acest lucru a fost necesar pentru a sublinia drumul care a fost urmat în analiza unui fenomen cunoscut.

Prezentînd elevilor un fenomen nou și cerîndu-le să-l transcrie matematic într-o formulă ei au putut sesiza că relațiile nu mai erau strict analoge. A fost necesar ca ei să-și restructureze materialul perceptiv, să-l compare cu toate operațiile cu mărimi vectoriale cunoscute, pentru a ajunge la rezolvarea sarcinii — găsirea formulei adecvate pentru materialul faptic observat.

DETERMINAREA UNOR MĂRIMI CARACTERISTICE PLASMEI RECI PRIN METODA SONDEI LANGMUIR

N. GHERBANOVSCHI și *R. BOBULESCU*, București

1. Descărcarea luminiscentă. Caracteristici și părți componente.

Trăsătura caracteristică ce deosebește descărcarea luminiscentă de alte tipuri de descărcări, este distribuția potențialului în gaz, condiționată de o anumită distribuție a sarcinilor spațiale.

În acest tip de descărcare, în regiunea catod-lumină catodică variația potențialului este de ordinul sutelor de volți, după cum se vede în fig. 1.

Această distribuție a potențialului are drept consecință următorul aspect exterior al descărcării luminiscente, pornind de la catod:

— spațiul întunecat Aston (fiind foarte subțire nu se observă cu ușurință întotdeauna);
— lumina catodică;
— spațiul întunecat Crookes;
— lumina negativă (spațiul luminiscent);

— spaţiul întunecat Faraday;
— coloana pozitivă;
— spaţiul întunecat anodic;
— lumina anodică.

Ultimile două porţiuni se observă doar în anumite condiţii de parametru ale descărcării.

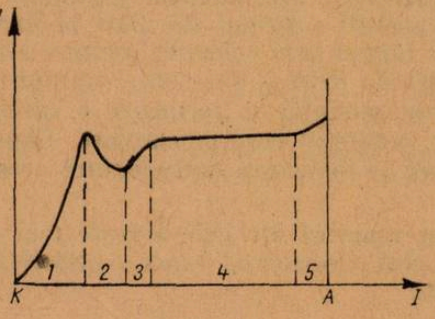


Fig. 1

Mecanismul descărcării se produce în linii mari astfel: în regiunea spaţiului întunecos catodic, datorită aglomerării de sarcini pozitive în faţa catodului, există un cîmp electric foarte intens. Acest spaţiu ia naştere datorită diferenţei mari între masele şi vitezele electronilor şi respectiv ionilor. În acest spaţiu are loc căderea celei mai mari părţi a tensiunii aplicate pe tub, fenomen ce poartă numele de „cădere catodică". Cîmpul electric scade cu distanţa faţă de catod, devenind aproape nul în lumina negativă şi spaţiul întunecat Faraday şi fiind mic şi constant de-a lungul coloanei pozitive.

Electronii emişi de catod în urma proceselor ce au loc la suprafaţa lui, părăsesc suprafaţa acestuia cu energii de cîţiva eV, fiind apoi imediat accelerați în cîmpul intens de la suprafaţa catodului. Pe o distanţă foarte scurtă, energia lor atinge valoarea corespunzătoare maximului funcţiei de excitare şi apare astfel foarte net prima lumină catodică. Grosimea mică a acestui strat se explică prin faptul că energia electronilor depăşeşte foarte repede pe cea corespunzătoare maximului funcţiei de excitare. Electronii ce au produs excitări şi şi-au pierdut deci aproape întreaga energie, sînt din nou accelerați, dînd naştere la cîteva asemenea straturi luminoase din ce în ce mai slabe. Cu creşterea energiei electronilor, aceştia devin prea rapizi şi nu mai pot produce o excitare însemnată a gazului. În schimb are loc, dacă spaţiul întunecat Crookes este suficient de lung, o ionizare a gazului însoţită de o dezvoltare în avalanşă, exponenţială, a densităţii electronilor, înspre marginea catodică a luminii negative. În această regiune a descărcării pe lîngă electronii formaţi în spaţiul întunecos catodic, apar şi alte grupuri de electroni, avînd loc deci o excitare şi ionizare intensă a gazului. În general, în lumina negativă, proprietăţile de fascicul monoenergetic ale electronilor se pierd treptat, mişcarea acestora devenind dezordonată. Datorită existenţei unui gradient mare de concentraţie, electronii trec din lumina negativă în spaţiul întunecat Faraday. În spaţiul întunecat Faraday, spre deosebire de spaţiul întunecat Crookes, numărul de excitări foarte mic se datoreşte faptului că electronii au energii prea mici. După ce electronii străbat o distanţă relativ mare

în cîmpul slab din spațiul întunecat Faraday, ei au o energie suficientă pentru a produce excitarea și ionizarea gazului, ceea ce marchează apariția capului coloanei pozitive. Aspectul difuz al acestuia explicîndu-se prin faptul că aici electronii nu au proprietățile unui fascicul monocinetic, ei venind din diferite puncte ale luminii negative, cu diferite energii inițiale. În coloana pozitivă a descărcării luminiscente, concentrația electronilor este practic egală cu cea a ionilor. Datorită existenței unui cîmp în regiunea amintită, așa numitul gradient al coloanei pozitive, electronii ajung la energii suficient de mari pentru a asigura ionizarea gazului. Curentul în lungul axei coloanei pozitive este purtat de electroni datorită unei mișcări de drift a acestora, suprapusă peste mișcarea lor dezordonată. În fața anodului se formează o sarcină spațială negativă și deci o cădere de potențial corespunzătoare. Capul anodic al coloanei pozitive este furnizat de ionizarea suplimentară ce se produce în această regiune.

În concluzie se remarcă din cele arătate mai sus, importanța ce o ocupă spațiul întunecat Crookes și lumina negativă în menținerea descărcării luminiscente.

2. Metoda sondei Langmuir.

Una din principalele metode de diagnosticare a plasmei unei descărcări electrice în gaze, este aceea ce folosește sondele electrostatice. Această metodă, elaborată de către Langmuir în 1923 și dezvoltată ulterior de Mott și Smith, are avantajul față de alte metode de diagnosticare, de a furniza informații despre proprietățile *locale* ale plasmei.

În esență, această metodă constă în observarea curentului electric la un conductor metalic de mici dimensiuni (sonda) introdus în plasma descărcării, funcție de potențialul aplicat între el și un electrod. Se admite că prezența sondei în plasmă duce doar la o perturbare locală a plasmei, ceea ce ne dă dreptul să afirmăm că măsurătorile efectuate asupra mărimilor ce ne interesează nu afectează cu ceva valorile adevărate ale acestora. Prin perturbare locală, înțelegînd regiunea de sarcină spațială din jurul sondei în care se stabilește un cîmp electric datorită diferenței de potențial dintre sondă și plasma din jurul ei.

Această condiție este fundamentală, ea permițîndu-ne să considerăm forma caracteristicii funcție doar de acele mărimi, acestea fiind : temperatura cinetică a electronilor T_e, densitatea lor N_e, și potențialul locului V_1.

În mod curent se folosesc următoarele trei feluri de sonde : sonda cilindrică, în forma unui mic cilindru metalic de rază cît mai mică, introdus în plasmă cu ajutorul unui suport de sticlă, sonda sferică în forma unei mici sfere susținută de un bastonaș de sticlă și sonda plană în forma unui disc metalic. Bineînțeles că sondele comunică cu exteriorul printr-un conductor metalic.

Aspectul general al unei caracteristici de sondă, ridicată prin metoda indicată de Langmuir, este cel figurat în fig. 2.

În regiunea A a caracteristicii volt-amper, curentul de sondă este format doar din ioni, electronii fiind respinși de sondă deoarece potențialul ei are valori mari negative față de potențialul plasmei. În acest caz se formează în jurul sondei un strat de sarcină spațială pozitivă ce ecranează

sarcina negativă a sondei, față de spațiul de descărcare. Mărind potențialul aplicat pe sondă, ea își va micșora negativarea și astfel vor putea ajunge la ea electronii cu viteze suficient de mari. Astfel că la sondă, curentul va fi format atît din ioni, cît și din electroni. La o anumită valoare a potențialului sondei $-V$, curentul de sondă va trece prin valoarea zero. Deci la acest potențial, curentul electronic este egal cu cel ionic,

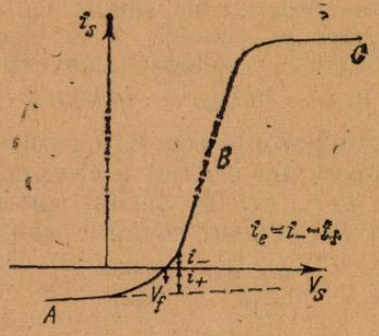


Fig. 2

potențialul respectiv purtînd numele de *potențial flotant* sau de *potențialul peretelui*, el reprezentînd potențialul pe care îl capătă un izolator pentru a egaliza curenții ionilor și electronilor ce difuzează prin el și avînd valoarea egală cu cea a potențialului ce l-ar lua sonda introdusă în plasmă, dacă ar fi deconectată de la sursa de tensiune.

Mărind în continuare potențialul aplicat pe sondă intrăm în porțiunea B a caracteristicii, porțiune în care componenta predominantă a curentului de sondă este cea dată de electroni. Curentul electronic crește rapid pînă ce potențialul sondei ajunge egal cu cel al plasmei ($V_s = V_1$). În acest moment sarcina spațială pozitivă dispare și la valori puțin mai mari ale potențialului, corespunzătoare temperaturii cinetice a ionilor din plasmă, aceștia sînt toți respinși. În jurul sondei se formează o sarcină spațială negativă ce va limita curentul electronic. Sîntem deci în regiunea de saturație, C, a caracteristicii.

Deoarece grosimea stratului sarcinii spațiale ascultă de legea *Child-Langmuir*, care dă legătura dintre intensitatea curentului la sondă limitat de sarcina spațială și diferența de potențial dintre sondă și marginea exterioară a stratului de sarcină spațială, cu mărirea în continuare a tensiunii, curentul electronic va crește numai datorită creșterii suprafeței laterale a stratului, deci mult mai încet decît în regiunea B a caracteristicii.

Teoria caracteristicii sondei, se bazează pe următoarele ipoteze:

a) În afara stratului de perturbare, densitatea ρ (electrică) și intensitatea cîmpului E sînt mici.

b) Grosimea d a stratului de sarcină spațială este mai mică decît drumul liber mijlocu al particulelor încărcate.

c) Mișcarea particulelor încărcate este independentă.

d) Nu există emisie secundară din sondă.

De asemenea Langmuir presupune o *distribuție maxwelliană* a vitezelor electronilor, dînd următorul criteriu pentru recunoașterea acesteia: caracterul rectiliniu al caracteristicii semilogaritmice a curentului electronic.

În aceste ipoteze, la un potențial U, al sondei față de gazul înconjurător, curentul electronic la sondă este dat de expresia:

$$i_e = Aen_e \sqrt{\frac{kT_e}{2\pi m}} \exp\left[\frac{eU}{kT_e}\right] = Aj_e \exp\left[-\frac{eU}{kT_e}\right] \quad (1)$$

unde j_e este densitatea curentului electronic dezordonat din plasmă, neperturbat de prezența sondei.

Avînd ridicată caracteristica de sondă, cu ajutorul expresiei (1) putem determina temperatura cinetică T_e a electronilor colectați de sondă. Pentru aceasta trebuie însă să logaritmăm expresia (1); vom obține:

$$\ln i_e = \ln (Aj_e) - (e/kT_e)\, U. \quad (2)$$

Se observă că relația (2) reprezintă ecuația unei drepte din a cărei pantă se poate determina temperatura cinetică a electronilor din plasmă. Deci ridicînd graficul $\ln i_e = f(V_s)$ (v. fig. 3), din partea rectilinie a lui vom putea găsi temperatura electronilor, conform relației:

$$\frac{\Delta \ln i_e}{\Delta V_s} = \frac{11\,600}{T_e} \quad (3)$$

deoarece $\Delta U = \Delta V_s$. Pentru a elimina efectul curentului ionic se obișnuiește să se facă o corecție a curentului electronic, scăzînd din curentul cules de sondă (porțiunea B a caracteristicii), curentul ionic (porțiunea A a caracteristicii), ce se găsește prin extrapolare liniară (v. fig. 2). Această corecție nu este prea exactă, dar erorile sînt cu atît mai mici cu cît curentul ionic este mai mic. Cunoscînd T_e se poate determina energia cinetică medie a electronilor, conform relației:

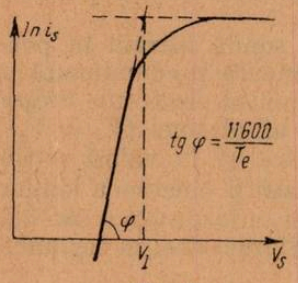


Fig. 3

$$K_e = \frac{mv^2}{2} = 3/2\, kT_e = W_0/300 \text{ [erg.]}$$

$$W_0 = 900\, kT_e/2e = T_e/7740 \text{ ([eV].}$$

Din graficul semilogaritmic se poate determina și potențialul locului dacă se obține regimul de saturație al curentului electronic. Pentru aceasta se face extrapolarea celor două regiuni rectilinii, punctul de intersecție indicîndu-ne prin abscisa lui potențialul locului (v. fig. 3). În cazul că nu se obține regimul de saturație, potențialul locului s-ar putea calcula cu ajutorul potențialului flotant. Metoda aceasta însă, este greoaie și destul de imprecisă.

Cunoscînd potențialul locului se poate determina imediat densitatea electronilor. Dacă j_0 este densitatea curentului electronic la sondă, atunci cînd sonda se află la potențialul locului, vom avea:

$$j_0 = en\bar{v}/4 \text{ unde } \bar{v} = 2\sqrt{2kT_e/m} = 6{,}25 \cdot 10^5\, T_e^{1/2} \text{ (cm.s}^{-1}\text{)}$$

conform teoriei cinetice. Prin urmare:

$$j_0 = 1{,}56 \cdot 10^5\, neT_e^{1/2} = 2{,}48 \cdot 10^{-14}\, nT_e^{1/2} \text{ (A.cm}^{-2}\text{)}$$

3. Instalația experimentală.

Tubul în care se realizează o descărcare luminiscentă a cărei plasmă vrem s-o studiem, trebuie introdus într-o instalație de vid, de genul celei

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

din figura 4. Instalația respectivă este formată din două secțiuni; o secțiune ce cuprinde două tuburi, în care se realizează tipul de descărcare studiat, și o capcană cu azot lichid (1), pe pereții căreia se condensează vaporii de mercur sau apă ce ar putea vicia gazul în care se produce descărcarea, cealaltă secțiune fiind prevăzută cu următoarele componente: o jojă Mariotte (2), cu ajutorul căreia se măsoară presiuni de 1 Torr pînă la 10^{-3} Torr, folosind formula $p = h^2c$, unde h reprezintă denivelarea dintre cele două coloane de mercur cînd coloana liberă ajunge la înălțimea tubului capilar închis, iar c este constanta jojei; un tub manometric (3) ce poate măsura presiuni între 10^{-1} și 10^{-4} Torr; un tub manometric cu ionizare (4) ce poate măsura presiuni sub 10^{-4} Torr; o pompă de difuzie cu mercur (5), cu ajutorul căreia se realizează un vid sub 10^{-3} Torr, încă o capcană cu azot lichid și pompa rotativă cu ulei cu ajutorul căreia se realizează un vid pînă la 10^{-3} Torr. Pompa rotativă poate comunica printr-un robinet cu ramura deschisă a jojei, cu secțiunea descrisă mai sus sau cu exteriorul.

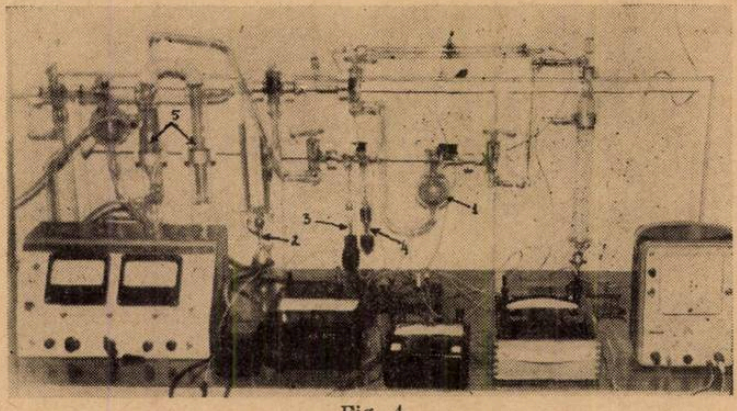


Fig. 4

Tensiunea necesară aprinderii-descărcării s-a luat de la un redresor cu tuburi cu mercur, ce putea da o tensiune maximă de 1700 V și un curent maxim de 80 mA. Circuitul de sondă (v. fig. 5) s-a alimentat potențiometric de la un redresor ce furniza o tensiune maximă de 800 V, acesta

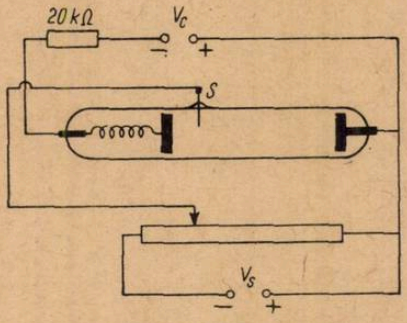


Fig. 5

fiind alimentat la rîndul lui de la un stabilizator, pentru o cît mai bună constanță a tensiunii în timp.

Aparatele de măsură necesare sînt următoarele :

— voltmetru electronic, a cărui rezistenţă mare la intrare permite o măsurare corectă a tensiunii aplicate pe tub, nemodificînd curentul în descărcare ;

— miliampermetru, pentru măsurarea curentului în descărcare ;

— voltmetru, de clasă şi sensibilitate cît mai bune, pentru măsurarea tensiunii aplicate pe sondă ;

— microampermetru cu aceeaşi recomandare ca mai sus, pentru măsurarea curentului de sondă ;

— manometru electronic, ce racordat la unul din tuburile manometrice, poate măsura presiunea din instalaţie în mod continuu.

BIBLIOGRAFIE

1. *I. Popescu* şi *E. Bădărău* — Gaze ionizate, Ed. tehnică (1965).
2. *Th. V. Ionescu*, Electricitatea, Ed. tehnică (1965).
3. *F. F. Chen* — Plasma diagnostic techniques, R. N. Huddlestone şi S. L. Leonard, Ed. (Academic, New York, 1965).

NOUTĂŢI ÎN LIBRĂRII

— **„Din istoria descoperirilor elementelor chimice"** de prof. *Mircea Mironescu* şi conf. univ. *Constantin Albu*.

Apărută în Editura ştiinţifică, lucrarea explică originea unor noţiuni — chimie, element — şi a unor termeni frecvent întîlniţi. În capitolele I şi II sînt descrise primele elemente chimice cunoscute de oameni, şi elementele alchimiştilor. Capitolul III prezintă reforma experimentală şi revoluţia chimică. Sînt apoi discutate elementele chimice descoperite după Lavoisier (secolele XVIII—XIX) şi elementele chimice ale secolului XX.

Ultimul capitol a cărţii — Limita elementelor chimice şi a elementarităţii substanţei — cuprinde şi un tabel sinoptic al elementelor chimice, o listă a premiilor Nobel pentru chimie şi un sistem periodic modern.

— **„Chimie cuantică"** de prof. *A. Julg* (traducere *Călin Stoicescu*). Lucrarea apărută în Editura ştiinţifică, tratează unele din cele mai importante probleme ale chimiei teoretice moderne : bazele teoretice ale legăturii chimice, metodele de calcul ce permit determinarea structurii electronice a moleculelor şi legătura dintre proprietăţile fizico-chimice şi structura moleculară. O parte însemnată a lucrării este dedicată studiului reactivităţii chimice, cu accent pe mecanismele de reacţie din chimia organică. Meritul deosebit al lucrării constă în faptul că într-un număr relativ redus de pagini, au fost tratate toate problemele principale ale chimiei cuantice.

Un alt merit îl constituie faptul că, deşi problemele abordate sînt dintre cele mai complexe, autorul nu apelează în cuprinsul cărţii la noţiuni matematice speciale, ceea ce măreşte gradul de accesibilitate a expunerii.

Majoritatea calculelor mai complicate, precum şi unele chestiuni complementare, utile, au fost grupate separat, la sfîrşitul cărţii, într-un număr de 4 anexe, ceea ce-i conferă lucrării, pe lîngă accesibilitate, şi o utilitate sporită.

I. P. Informaţia — c. 3058

Index 43 459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL IX

2

FEBRUARIE 1972
RFCABV 9 (2) 41–80 (1972)

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI – 46 TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag.

Pentru clasele speciale de fizică și chimie:

Prof. emerit *Cornelia Gheorghiu*, București

1. Noțiuni de cinetică chimică 41

Lecții moderne de fizică și chimie:

Prof. *Constanța Manea*, București

2. Mișcarea circulară, efect al interacțiunii corpurilor 48

Lucrări de laborator:

Prof. *N. Calinicenco*, Iași

3. Determinarea conținutului de fier dintr-un minereu 53

Stud. Octavian Baltag, Iași

4. Oscilator electric tranzistorizat, pentru urmărirea vizuală a oscilațiilor electrice întreținute 55

Materiale prezentate la simpozionul „Fizica și chimia catalizatorilor" septembrie 1971:

Dr. *Maria Gruia*, București

5. Cataliza în lupta împotriva poluării atmosferei. 58

Cercet. *Mihaela Constantinescu*, București

6. Efecte de memorie la adsorbția gazelor pe semiconductori, sub influența luminii . 67

Adrian *Octav Fulea*, *Minodora Leca*, București

7. Vibrațiile normale ale polimerilor 71

Lector univ. *I. Gavrilă*, *I. Cojocaru*, *C. Cândea*, Brașov

8. Acțiunea ultrasunetelor asupra unor depuneri galvanice 78

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, conf. univ.; **Teodor Bohățiel**, lector univ.; **Simion Bulgărea**, prof. **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicole Martalogu**, conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof. **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof. redactor șef

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

Seria A

Anul IX Nr. 2 februarie 1972

PENTRU CLASELE SPECIALE

NOŢIUNI DE CINETICĂ CHIMICĂ

Prof. emerit *CORNELIA GHEORGHIU*, Bucureşti

Studiul vitezelor de reacţie şi influenţa condiţiilor asupra acestor reacţii poartă numele de *cinetică chimică*, prin *viteză de reacţie* înţelegîndu-se cantitatea de substanţă transformată în unitatea de timp.

Pentru interpretarea corectă a definiţiei vitezei de reacţie, profesorul poate interveni cu precizarea că viteza se poate exprima atît prin cantitatea unuia dintre reactanţii consumaţi în unitatea de timp cît şi prin cantitatea unuia dintre produşii de reacţie rezultaţi în unitatea de timp. De exemplu pentru sinteza amoniacului:

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$$

viteza de reacţie se poate exprima fie prin raportul:

$$v = \frac{\text{cantitatea de } N_2 \text{ consumată}}{\text{intervalul de timp}}$$

fie prin raportul:

$$v = \frac{\text{cantitatea de } NH_3 \text{ obţinută}}{\text{intervalul de timp}}$$

cu condiţia ca intervalul de timp să fie foarte mic, întrucît viteza de reacţie variază în timp.

Cantităţile consumate sau produse se exprimă adesea în unităţi de presiune atunci cînd substanţele sînt în stare gazoasă, sau în unităţi de concentraţie cînd substanţele sînt în soluţie.

Timpul se exprimă în unităţi adecvate reacţiei; astfel, pentru explozia gazului grizu se va folosi microsecunda, pentru arderea lemnului se va folosi secunda, iar pentru ruginirea fierului se va folosi ora.

Comparînd vitezele diferitelor reacţii cunoscute de elevi ca de exemplu: arderea fosforului, coclirea cuprului, putrezirea lemnului, se observă că unele au loc în mod lent, iar altele sînt foarte rapide; de aici se deduce clar că reacţiile chimice au loc cu viteze diferite.

Se naşte însă în mod firesc întrebarea care sînt factorii care influenţează viteza de reacţie. Aplicînd metoda învăţării prin descoperire profesorul poate pretinde elevilor să deducă singuri pe baza cunoştinţelor anterior asimilate dependenţa vitezei de alte mărimi.

Astfel, un prim factor care rezultă chiar din exemplele anterioare şi care va fi uşor dedus de elevi îl constituie *natura reactanţilor*.

Spre exemplificare se pot efectua practic şi următoarele experienţe : decolorarea soluţiei de permanganat de potasiu în mediu acid, în prezenţa sulfatului feros şi a acidului oxalic.

Bilanţul ionic al acestor reacţii se poate exprima prin ecuaţiile (2) şi (3) :

$$5\,Fe^{2+}_{(aq)} + Mn\,O^{-}_{4\,(aq)} + 8H^{+}_{(aq)} \rightarrow 5Fe^{3+}_{(aq)} + Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O \qquad (2)$$

reacţia decurge foarte repede.

$$5\,C_2O^{2-}_{4(aq)} + 2MnO^{-}_{4(aq)} + 16H^{+}_{(aq)} \rightarrow 10CO_{2(g)} + 2Mn^{2+}_{(aq)} + 8\,H_2O \qquad (3)$$

reacţia decurge încet.

Deşi şi ionul Fe^{2+} şi ionul oxalat au capacitatea de a decolora soluţia de permanganat de potasiu la temperatura camerei, între timpurile necesare decolorării există o diferenţă evidentă. Deci natura reactanţilor, sau mai precis caracteristicile specifice ale $Fe^{2+}_{(aq)}$ şi $C_2O^{2-}_{4\,(aq)}$ influenţează viteza de reacţie.

Un alt factor care influenţează viteza de reacţie şi care va fi la fel de uşor descoperit de elevi este *concentraţia*. Dependenţa vitezei de reacţie de concentraţie se va urmări prin experienţe în care natura reactanţilor şi temperatura se vor păstra constante.

Practica le va indica elevilor că pentru multe reacţii mărirea concentraţiei unui reactant aduce după sine creşterea vitezei reacţiei. Totuşi, profesorul le va atrage atenţia că se cunosc şi cazuri cînd reacţiile se desfăşoară în timp, independent de concentraţia *unui* reactant.

Se va explica iniţial primul caz folosind un model al desfăşurării reacţiilor chimice la scară moleculară şi anume teoria ciocnirilor.

Pentru a furniza elevilor informaţii cît mai complete, profesorul poate preciza că cinetica chimică se bazează pe premiza că viteza de reacţie este proporţională cu produsul concentraţiilor reactanţilor şi independentă de concentraţiile substanţelor care nu iau parte la reacţie, enumerîndu-se printre aceştia şi produşii de reacţie.

Luîndu-se în discuţie cel mai simplu caz, acela al unei reacţii cu un singur reactant :

$$A \rightarrow \text{Produşi} \quad \text{sau} \quad A \rightarrow B + C$$

expresia matematică a vitezei va fi dată de :

$$v = k\,[A]$$

Pentru cazul reacţiei produse între 2 reactanţi, de tipul :

$$A + B \rightarrow \text{Produşi} \quad \text{sau} \quad A + B \rightarrow C + D$$

viteze de reacţie v, va fi reprezentată prin :

$$v = k\,[A] \cdot [B]$$

În sfîrşit pentru reacţia chimică generală de forma :

$$aA + bB + \cdots \rightarrow \text{Produşi}$$

viteza va fi reprezentată prin :

$$v = k\,[A]^a\,[B]^b \ldots \qquad (9)$$

în care a, b sînt ordinele de reacţie a reactanţilor A şi respectiv B, iar $a + b + \ldots = n$ numit şi ordinul de reacţie total.

Dependența vitezei de concentrație îi va conduce pe elevi la concluzia că reacțiile chimice nu au viteze uniforme. La începutul reacției cînd concentrația reactanților este maximă, viteza de reacție va fi mare, iar pe măsura micșorării concentrației, viteza de reacție descreşte mai întîi repede şi apoi din ce în ce mai încet, tinzînd către zero.

Ca urmare firească profesorul va arăta că viteza reacției se reprezintă cel mai bine prin derivata descreşterii concentrației, c, a unuia dintre reactanți sau, ceea ce este acelaşi lucru, prin derivata creşterii concentrației, x, a unuia dintre produşi :

$$v = -\frac{dc}{dt} = \frac{dx}{dt}$$

Pentru a se explica şi cel de al doilea caz, cînd concentrația unui reactant nu afectează viteza de reacție, profesorul poate considera drept exemplu reacțiile :

$$5\,Fe^{2+}_{(aq)} + MnO^{-}_{4(aq)} + 8H^{+}_{(aq)} \rightarrow 5Fe^{+3}_{(aq)} + Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O \qquad (2)$$

$$4\,H\,Br_{(g)} + O_{2(g)} \xrightarrow[400-600°C]{} 2H_2O_{(g)} + 2\,Br_{2\,(g)} \qquad (4)$$

Speciile noi de substanțe care vor lua naştere prin crearea a noi legături chimice constituie de fapt un rezultat al ciocnirilor ionilor sau moleculelor reactante.

Dacă reacția (2) ar avea loc într-o singură etapă, 5 ioni Fe^{2+}, un ion de MnO_4^+ şi 8 ioni de H^+ ar trebui să se ciocnească simultan. Ori ciocnirea concomitentă a 14 ioni este practic imposibilă. Deci, trebuie să se considere că reacția complexă de sus are loc într-o serie de trepte simple, în care nici una din etape nu cuprinde o ciocnire atît de improbabilă.

În stare gazoasă, sau în soluții de concentrații reduse şi ciocnirea simultană a 4 particule este considerată cu un fapt improbabil (cazul reacției 4).

Totalitatea treptelor simple, a reacților elementare a unei reacții globale, se cunoaşte sub denumirea de *mecanism de reacție.*

Întrucît mecanismul reacției (2) este mai complicat este de preferat să se explice elevilor mecanismul reacției de oxidare a acidului bromhidric (4), reacție cunoscută din anul I.

Conform ecuației (4) unde la 4 molecule de H Br corespunde o moleculă de O_2 ar fi de aşteptat ca variația presiunii HBr să modifice diferit viteza de reacție, în comparație cu aceeaşi variație a presiunii oxigenului. Dar determinările experimentale ale vitezei de reacție la diferite presiuni şi cu diferite amestecuri au dovedit că atît oxigenul cît şi acidul bromhidric modifică în aceeaşi măsură viteza de reacție. Explicația nu poate fi dată decît analizînd mecanismul acestei reacții, întrucît probabilitatea ca 4 molecule de HBr şi o moleculă de O_2 (deci 5 molecule de substanțe gazoase) să se ciocnească simultan este practic nulă.

Cercetările experimentale au condus la următorul mecanism de reacție:

$$H\,Br + O_2 \rightarrow H\,O\,O\,Br \qquad (5)$$

$$H\,O\,O\,Br + H\,Br \rightarrow 2H\,O\,Br \qquad (6)$$

$$H\,O\,Br + H\,Br \rightarrow H_2O + Br_2 \qquad (7)$$

Se observă că fiecare produs a unei reacții elementare este unul din reactanții treptei următoare de reacție.

Amplificînd ecuaţia (7) cu 2 şi însumînd apoi toate treptele mai sus indicate se obţine ecuaţia globală (4).

Se observă de asemenea că nici una din treptele mecanismului de reacţie nu necesită ciocnirea a mai mult de 2 molecule. Dacă se determină viteza de reacţie a fiecărei trepte se observă că ecuaţia (5) are loc cu viteza redusă, dar este suficient să se formeze H OO Br pentru ca imediat să fie consumat, conform ecuaţiilor (6) şi (7) care au viteze foarte ridicate.

Se înţelege însă uşor că oricît de rapide ar fi reacţiile (6) şi (7) ele pot produce H_2O şi Br_2 doar cu viteza reacţiei (5), care de altfel determină şi viteza reacţiei globale (4).

Generalizînd cazul se poate specifica că, cea mai lentă reacţie dintr-un mecanism de reacţie determină viteza reacţiei globale şi ca urmare se numeşte *treaptă determinantă de viteză*. Cum în treapta determinantă de viteză la o moleculă de H Br corespunde o moleculă de O_2, este firesc ca variaţia presiunii a oricărui din aceşti reactanţi să producă acelaşi efect asupra vitezei de reacţie.

Un alt factor care influenţează viteza reacţiei este *temperatura*. Teoria ciocnirilor prevede că o dată cu creşterea temperaturii se măreşte viteza reacţiei. Experienţa arată însă că în multe reacţii la ridicarea temperaturii cu 10°C, viteza de reacţie se dublează sau se triplează.

În sprijinul acestei afirmaţii profesorul îşi va alege cu grijă diverse exemple din care elevii vor putea deduce că ridicarea temperaturii reactanţilor produce atît mărirea frecvenţei ciocnirilor cît şi creşterea numărului de molecule cu energie ridicată, suficientă pentru a provoca reacţia.

Se ştie că, un amestec de gaz metan şi aer nu reacţionează la temperatura camerei, dar este suficient să se producă o mică scînteie sau să se arunce în cameră o ţigară aprinsă pentru ca amestecul să reacţioneze cu explozie.Explicaţia pare simplă : în jurul scînteii temperatura gazului este ridicată şi ca urmare viteza reacţiei creşte, elaborîndu-se energie. Căldura dezvoltată încălzeşte regiunea înconjurătoare şi reacţia se extinde foarte mult într-o milisecundă, pînă cînd în final atinge o viteză explozivă.

Dar se naşte întrebarea : de ce creşterea temperaturii are un efect atît de pronunţat asupra vitezei de reacţie?

Se ştie că la temperatura camerei în fiecare secundă o moleculă de CH_4 ciocneşte 10^9 molecule de oxigen, dar, reacţia nu are loc pentru că ea se produce numai dacă moleculele au o energie mare, de o anumită valoare, numită prag energetic E.

Ori la temperatura camerei moleculele de CH_4 au energii mai reduse decît pragul energetic. Încălzind gazul chiar într-un singur loc, energia unor molecule de CH_4 creşte depăşind pragul energetic E şi reacţia începe. Această reacţie fiind exotermă transmite instantaneu energia necesară moleculelor vecine şi cum ciocnirile decurg atît de rapid (10^9 ciocniri pe secundă) reacţia are loc într-un timp extraordinar de scurt, cu explozie.

În aceste condiţii se înţelege de ce creşterea frecvenţei ciocnirilor produsă de ridicarea temperaturii are un efect minor în comparaţie cu acela cauzat de creşterea numărului de molecule cu energie suficientă pentru a provoca reacţia.

Întrucît energia moleculelor are un rol atît de important în determinarea vitezei de reacţie, profesorul va urmări în continuare variaţia energiei în timpul ciocnirilor eficace, care produc o reacţie.

S-a stabilit teoretic şi experimental că atunci cînd moleculele se ciocnesc şi reacţia are loc, atomii capătă noi aranjamente (legături) care sînt mai puţin stabile şi decît reactanţii şi decît produşii. Aceste noi aranjamente moleculare le putem compara cu o barieră de energie între reactanţi şi produşi. Acum se înţelege uşor că dintre moleculele care se ciocnesc, numai acelea care au suficientă energie pentru a depăşi bariera impusă de aranjamentul tranzitoriu, instabil, pot reacţiona. Bariera aceasta care determină de fapt energia de prag E sau energia minimă

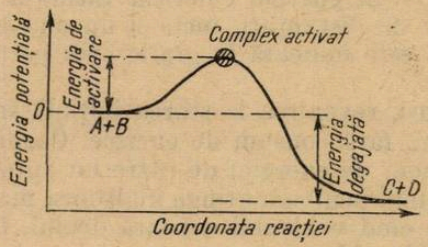


Fig. 1

necesară pentru ca reacţia să aibă loc se numeşte *energie de activare*; iar aranjamentul molecular nestabil, a cărei energie potenţială determină energia de activare se cunoaşte sub numele de *complex activat* sau *stare de tranziţie*. În tratarea matematică a problemei, starea de tranziţie este considerată ca o moleculă. Deosebirea între o moleculă obişnuită şi complexul activat constă în faptul că primei îi corespunde o stare de energie minimă, pe cînd stării de tranziţie îi corespunde o stare de energie maximă.

Reprezentînd grafic variaţia energiei potenţiale în timpul unei reacţii obţinem diagrama din figura 1 :

Pe abscisă, numită în acest caz şi coordonata reacţiei se reprezintă sensul reacţiei, iar pe ordonată se reprezintă energia potenţială a sistemului.

Urmărind graficul din fig. 1 se poate observa că porţiunea orizontală din stînga corespunde situaţiei în care reactanţii se apropie unul de altul. Reactanţii în această regiune posedă energie cinetică (a cărei valoare este determinată de temperatură) şi energie potenţială a cărei valoare totală rămîne constantă.

Momentul cînd cele două molecule reactante s-au apropiat suficient pentru a avea un efect una asupra celeilalte, este reprezentat în grafic prin începutul ascensiunii curbei. În continuare moleculele îşi încetinesc viteza şi ca urmare energia lor cinetică scade, transformîndu-se treptat, treptat în energie potenţială.

Creşterea energiei potenţiale permite moleculelor să se apropie din ce în ce mai mult de valoarea corespunzătoare energiei potenţiale a complexului activat.

Posibilitatea parcurgerii traiectoriei stîngi a barierei pînă în punctul maxim, depinde deci de valoarea energiei cinetice a moleculelor reactante : numai cînd această valoare este suficient de mare pentru a învinge forţele de respingere ale nucleelor şi ale norilor electronici ale reactanţilor, se poate forma complexul activat. Starea de tranziţie sau complexul activat reprezintă un sistem molecular instabil atît faţă de reactanţi cît

și față de produșii de reacție. Ca urmare din acest moment pot exista 2 posibilități :

1) — Complexul activat se poate separa în cele 2 molecule originale (reactanții) care vor urma deci drumul parcurs pînă acum pe curbă, dar în sens invers.

2) — Complexul activat se poate separa în molecule corespunzătoare produșilor de reacție, ceea ce în grafic este reprezentat prin partea dreaptă a curbei descendente. Pe acest traseu energia potențială se transformă treptat, treptat în energie cinetică. Situația în care produșii de reacție se găsesc atît de distanțați, încît ei nu mai pot avea vreun efect unul asupra celuilalt este indicată în grafic prin porțiunea orizontală din dreapta „barierei".

În ambele cazuri, revenirea la starea inițială sau trecerea la starea finală au loc spontan, fără consum de energie. Cazul este similar cu trecerea unui deal (bariera de energie) de către un automobil, deoarece motorul este necesar numai pentru a atinge înălțimea maximă, iar apoi poate fi scos din funcțiune cînd vehiculul coboară dealul, fie că înaintează fie că revine la punctul de plecare.

Diferența dintre energia potențială a complexului activat și cea mai coborîtă energie a reactanților se numește *energie de activare* și se notează cu $\Delta H_R^{\ddagger}$. În alți termeni energia de activare corespunde energiei necesare transformării reactanților în complexul activat, sau ceea ce-i tot una cu „excesul de energie", în raport cu energia medie a moleculelor, pe care trebuie să-l posede moleculele reactanților pentru a reacționa. Mărimea energiei de activare a unei reacții poate fi determinată măsurînd experimental variația vitezei de reacție cu temperatura.

Din fig. 1 rezultă că reactanții se situează la un nivel de energie mai ridicat decît produșii de reacție, ceea ce îi va conduce pe elevi la concluzia că reacția exemplificată în grafic este exotermă. Ea eliberează ΔH Kcal/mol.

Pentru cazul unei reacții endoterme profesorul se poate folosi de același grafic, dar interpretat pentru reacția inversă (de la dreapta la stînga). În acest caz reacția urmează să înceapă la o energie mai coborîtă și încetează la o energie mai ridicată. Energia de activare $\Delta H_L^{\ddagger}$ pentru această reacție este superioară celei studiate anterior. Diferența de energie este egală exact cu căldura reacției inverse, ΔH și de semn opus.

Între energiile de activare pentru reacția directă și inversă există următoarea relație matematică :

$$[\Delta H_R^{\ddagger} = \Delta H_L^{\ddagger} + \Delta H \qquad (9)$$

în care căldura de reacție ΔH este pozitivă ($\Delta H > 0$), dacă căldura este absorbită și este negativă ($\Delta H < 0$), dacă este degajată.

$$\Delta H_R^{\ddagger} = H_L^{\ddagger} - \Delta H \qquad (9)$$

Din fig. 2 care cuprinde schemele nivelelor de energie ale moleculelor reactanților, produșilor și ale complecșilor activați, în cele 2 tipuri de reacții exoterme și endoterme, se deduce foarte simplu relația (9).

În reacțiile ionice energiile de activare sînt zero sau foarte mici, pentru că ionii se combină la fiecare ciocnire fără să necesite o energie de activare.

Deoarece vitezele de reacţii în multe cazuri sînt foarte reduse se folosesc substanţe care nu se consumă în timpul reacţiei, dar care au rolul de a mări viteza de reacţie. Aceste substanţe se numesc *catalizatori*, iar procesul de creştere a vitezei reacţiei, *cataliză*. Se impune a fi menţionat de la început că acţiunea catalitică nu poate produce o reacţie care în

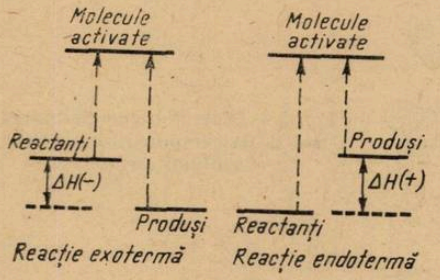


Fig. 2

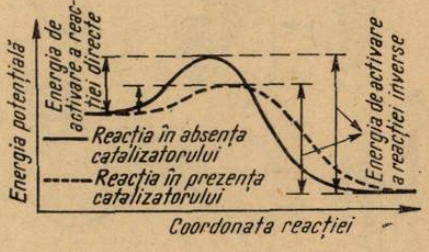


Fig. 3

condiţii normale nu poate avea loc. Catalizatorul are doar rolul de a mări viteza unei reacţii care poate avea loc şi în absenţa sa, dar cu viteză foarte redusă.

Prezenţa catalizatorului oferă reacţiei un alt drum, cu trepte intermediare şi cu bariere de energie de activare diferite, conform liniei punctate din fig. 3

Reacţia în acest caz va prezenta un nou mecanism şi alţi complecşi activaţi cu bariere energetice mai joase. Ca urmare mai multe particule pot trece peste noua barieră şi deci viteza de reacţie creşte.

Spre exemplificare profesorul poate folosi reacţia de descompunere a acidului formic sub acţiunea catalitică a unui acid.

Acidul formic $H-C\begin{matrix}=O\\ \diagdown OH\end{matrix}$ se descompune în absenţa catalizatorului cu viteză foarte mică,

$$HCOOH \rightarrow H_2O + CO$$

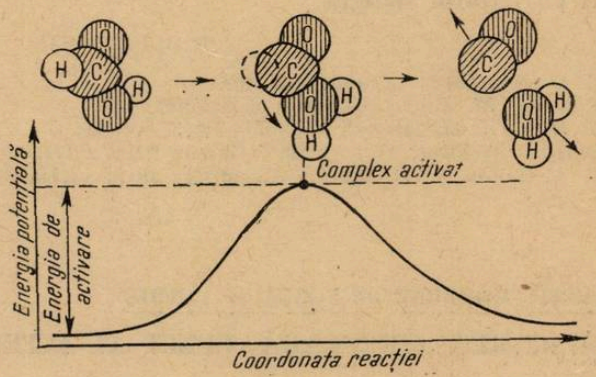


Fig. 4—Diagrama energiei potenţiale a descompunerii necatalitice a acidului formic.

deoarece atomul de H legat direct de C trebuie să migreze spre grupul OH, proces ce necesită o energie de activare foarte mare (fig. 4). Experimental s-a observat că prin adăugarea unui acid (H_2SO_4; H_3PO_4) la o soluţie apoasă de acid formic se produce o degajare rapidă de bule

de CO. Deci existența ionilor H^+ în soluție face posibil un nou drum de reacție pe care îl imaginăm astfel:

— în prima etapă ionul H^+ se atașează la acidul formic formînd un produs nou $(HCOOH_2)^+$ Fig. 5.

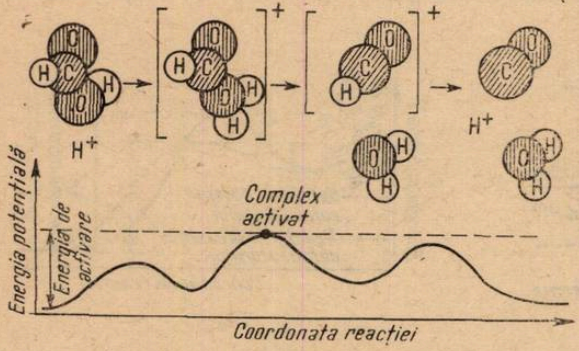


Fig. 5 — Diagrama energiei potențiale a descompunerii catalitice a acidului formic.

— în etapa următoare acest produs cuprinzînd o legătură C = O stabilă, și alta mai labilă, cu o mică cantitate de energie se transformă în apă și cationul $(HCO)^+$

— în ultima etapă ionul $(HCO)^+$ se descompune în CO și reface catalizatorul H^+.

Urmărind graficul din fig. 5 se observă că fiecare din treptele acestui nou mecanism de reacție este guvernată de aceleași principii pe care le cunoaștem dintr-o reacție simplă, iar diagrama energiei potențiale a reacției globale este formată din curbe energetice simple ale treptelor succesive.

În cazul catalizatorilor în stare solidă ca Fe, Ni, Pt, Pa mecanismul este diferit și anume: moleculele reactanților gazoși sînt adsorbite într-o poziție favorabilă pentru reacție, pînă cînd o moleculă a altui reactant atinge același punct de pe solid. În unele cazuri de adsorbție superficială, legături ale particulelor care reacționează sînt slăbite sau chiar rupte, ușurînd astfel reacția cu o altă particulă reactantă.

Cataliza și catalizatorii constituind o temă specială se va trata într-un capitol separat.

BIBLIOGRAFIE

C. D. Nenițescu — Chimie generală
F Beral, M. Zapan — Chimie anorganică
G. Niac, E. Schönberger — Chimie fizică, vol III
Erdey Gruz Tibor, Schay Geza — Chimie fizică teoretică vol II
F. A. Cotton, L. D. Lynch — Chemistry an investigative approach.

LECȚII MODERNE DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

MIȘCAREA CIRCULARĂ, EFECT AL INTERACȚIUNII CORPURILOR

Prof. *MANEA CONSTANȚA*, București.

— Scopul lecției: Stabilirea izvorului mișcării circulare-interacțiunea.

— Metoda folosită: Experiment de laborator.

— Materialele utilizate: Mașini centrifuge (7 buc.), motorașe cu ax vertical (3—4 buc.), tije metalice, bile cu canal central, bile pline,

sfoară, resorturi elastice, dispozitive de prindere a tijelor, ştifturi şi diverse accesorii ale maşinii centrifuge; materialele vor fi repartizate la fiecare masă de lucru, unde elevii vor fi grupaţi cîte 3.

— Timp afectat studiului: 2 ore a 45' (cuplate).

— Cunoştinţe necesare elevilor: (plan de recapitulare)

— mişcarea mecanică — definiţii — cu sublinieri asupra sistemului de referinţă la care se raportează mişcarea

— clasificarea mişcărilor { — după traiectorie / — după legea de mişcare

— modul de studiu al fiecărui tip de mişcare

cinematic { traiectorie / legi de mişcare } fără a urmări efectul interacţiunii

dinamic — interacţiunea { modificarea mişcării mecanice (aspect mecanic) / deformare (aspect nemecanic) }

— legile dinamicii

ORA I-a

Ţinînd cont de planul de recapitulare se punctează:

— definiţia mişcării mecanice: — clasificarea mişcărilor;

— aspecte urmărite în studiul oricărui tip de mişcare { cinematic / dinamic }

— sisteme de referinţă { inerţiale / neinerţiale } — observatorul participă sau nu participă la mişcarea studiată. — tipul de mişcare rămas nestudiat — mişcarea curbilinie — caz particular? mişcarea circulară.

— Se cere copiilor să dea exemple de mobile aflate în mişcare circulară (la exemplele date se subliniază deosebirea dintre mişcarea de rotaţie a unei roţi de ex. şi mişcarea unui punct material de pe roată, punct ce descrie mişcarea circulară).

— Li se cere să definească mişcarea circulară.

— Profesorul propune elevilor să studieze mişcarea circulară (ca observatori ce nu participă la mişcare) stabilind cauzele ei, îmbinînd cele două aspecte — cinematic şi dinamic.

— La indicaţia profesorului, elevii vor examina materialele existente pe masa de lucru, trecînd în caiete denumirea pieselor componente (anexe).

— Profesorul cere elevilor să realizeze, cu ajutorul materialelor existente pe mese, cel mai simplu dispozitiv cu care să poată urmări mişcarea circulară a unui mobil (punct material), fără a-l pune în funcţie.

— Profesorul urmăreşte dispozitivele realizate de elevi reţinînd următoarele: bila cu canal central fixată pe tija orizontală (1 bucată); — pendul conic (3 buc.); — diverse (6 buc);

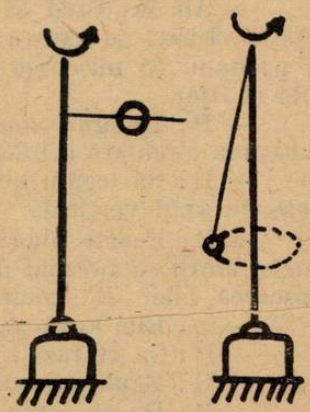


Fig. 1

— Profesorul pune în discuţie primele 2 dispozitive din punct de vedere al realizării şi studiului mişcării circulare a punctului material, se desenează pe tablă schemele lor şi se alege primul din ele, pentru studiul în clasă al mişcării. Se demontează dispozitivele realizate de elevi.

ORA II-a

— P : Copii, ne-am propus să studiem mişcarea circulară a unui mobil, cu ajutorul dispozitivului realizat de grupa I. Vom începe montarea dispozitivului, toţi odată, şi-l vom pune în funcţiune numai la indicaţia mea, deci montaţi dispozitivul conform schemei (lucrează elevul nr. 2 din fiecare grupă)

— P : Toată clasa a fixat tijele şi bila? Mai are cineva vreo propunere în plus?

— E : Tovarăşe profesoară, la dispozitivul nostru, bila se deplasează uşor pe tija orizontală, o să cadă.

— P : Ce propui?

— E : Să introducem un cui opritor în orificiul existent la capătul tijei!

— P : Pentru acest scop aveţi pe fiecare masă cîte un ştift pe care-l fixaţi la capătul tijei, după ce aţi introdus bila, care trebuie să se afle cît mai aproape de ax. (după controlul montării dispozitivelor, se dă indicaţia ca elevii nr. 1 şi 3 din fiecare grupă să urmărească cu mare atenţie mişcarea bilei, iar elevii nr. 2 să pună dispozitivul în funcţiune).

Elevii vor observa că bilele gliseză pe tija orizontală, se opresc în ştift şi apoi intră în mişcare circulară.

— P : Ce aţi observat?

— E : Bila alunecă şi se opreşte la capătul tijei, din cauza ştiftului.

— P : Şi apoi?

— E : Începe să se „rotească".

— P : Se roteşte?

— E : Nu, are mişcare circulară.

— P : Deci mişcarea circulară a început abia în momentul contactului cu ştiftul! dacă nu am fi pus ştiftul, ce s-ar fi întîmplat?

— E : Bila ar fi căzut.

— P : Dece?

— E : ??

— Alt E : Cred că din cauza inerţiei, bila avînd tendinţa de a-şi păstra starea pe care a avut-o în momentul punerii în mişcare a tijei şi probabil că mişcarea este rectilinie (neglijînd eventuala frecare între bilă şi tije).

— P : Desigur, concluzia este justă! Cum am putea realiza totuşi, mişcarea circulară a bilei, fără ştift?

— E : Să legăm bila cu sfoară, iar celălalt capăt al sforii să-l prindem de axul vertical.

— P : Foarte bine! E_1 din grupă să realizeze aceste legături (lungimea sforii să fie mai mică decît lungimea tijei). E_2 şi E_3 veţi observa mişcarea bilei. E_1, pune în funcţiune dispozitivul! Ce-aţi observat?

— E : Bila are o mişcare circulară, adică traiectoria este circulară.

— P : Cu ce rază?

— E : Egală cu lungimea sforii.

— P : De ce acum are o mişcare circulară?

— E : Din cauza sforii! Pentru că bila este legată cu sfoară.

— P : Bun. Mai are cineva de făcut vreo completare? Iată ce propun eu : să repetăm experiența, dar cu sfoara foarte lejeră, adică neîntinsă. Veți observa și sfoara și bila. E_3 pune în funcțiune. Ce-ați observat?

— E : Sfoara s-a întins, iar bila are mișcare circulară.

— P : Ce observație ați făcut între momentul punerii în funcțiune a dispozitivului și momentul intrării bilei în mișcare circulară?

— E : Pînă cînd s-a întins sfoara, bila nu a avut mișcare circulară.

— P : Dar ce fel de mișcare?

— E : Rectilinie.

— P : Toată clasa a constatat aceeași mișcare, sau sînteți de altă părere?

— E : Mișcarea a fost rectilinie, bila s-a comportat pînă la întinderea sforii, ca și la prima experiență, cînd am folosit știftul.

— P : Putem spune cumva că sfoara întinsă produce o modificare în mișcarea bilei?

— E : Da, deoarece pînă la întinderea sforii mișcarea este rectilinie, iar după întindere bila intră în mișcare circulară, putem spune că sfoara întinsă transformă mișcarea rectilinie în mișcare circulară.

— P : În locul sforii, cu ce am mai putea lega bila de axul vertical?

— E : Să încercăm cu resortul.

— P : Foarte bine! E_2 desface sfoara și reface montajul cu resortul, fără a fi comprimat. Urmăriți cu mare atenție mișcarea și prindeți cele două momente importante : punerea în mișcare a sistemului și intrarea bilei în mișcare circulară. E_2 pune în funcțiune ... ce observați?

— E : Resortul se întinde și bila are o mișcare circulară.

— P : În ce moment începe mișcarea circulară?

— E : După ce s-a întins resortul.

— P : Există vreo deosebire între studiul efectuat cu legătura prin sfoară sau resort?

— E : Nu, în ambele cazuri, din cauza legăturii, mișcarea rectilinie se transformă în mișcare circulară.

— P : Dar în cazul experienței prime, cu bila liberă pe tije și știft opritor?

— E : Eu cred că știftul este cel care obligă bila să aibă mișcare circulară.

— P : Deci și în acest caz există o legătură!

— E : Da.

— P : Cine încearcă să tragă concluziile asupra tuturor observațiilor noastre?

— E : Bila are mișcare circulară numai dacă este legată de axul vertical printr-o sfoară sau resort.

— P : Sau încă?

— E : Sau știftul care să oblige bila să se înscrie pe traiectoria circulară.

— P : Dar de fapt, pentru traiectoria circulară, ce reprezintă axul vertical?

— E : Centrul circumferinței.

— P : Bun, deci am ajuns la concluzia necesității unei legături între mobil și centrul circumferinței, sau în general o legătură care să rețină sau să oblige corpul să se miște pe o traiectorie circulară (bilă-sfoară, bilă-resort sau bilă-știft). Ați observat că sfoara și resortul s-au întins (resortul s-a deformat), modificări ce s-au menținut tot timpul cît a durat

mişcarea circulară a bilei. Din ce cauză s-a produs deformaţia? Din ce cauză s-a întins sfoara?

— E : Eu cred că bila a deformat resortul.

— Alt E : Inerţia bilei.

— P : În resortul deformat, sau în firul întins, ce apare?

— E : ?

— Alt Elev : Apare elasticitatea!?.

— P : Ideea este bună, exprimarea nu. Elasticitatea este o proprietate. Deci ce apare?

— E : Da, o forţă elastică.

— P : Care este proporţională cu?

— E : Deformaţia.

— P : Şi care acţionează asupra cui?

— E : Cred că asupra bilei.

— P : Foarte bine. Dar despre sfoara întinsă, ce putem spune?

— E : La fel, sfoara întinsă este tensionată, tot din cauza bilei, adică a inerţiei bilei ... adică în sfoară apare forţă de tensiune.

— P : Şi aici, asupra cui acţionează?

— E : Tot asupra bilei.

— P : Foarte bine, deci am ajuns la concluzia că bila se mişcă pe traiectoria circulară, dece? precizaţi încă odată.

— E : Din cauza forţei exercitate de legăturile cu sfoara sau resortul.

— P : Ideea este bună, însă exprimarea nu este corectă, întrucît orice legătură poate fi înlocuită printr-una sau mai multe forţe. Deci asupra bilei, în fiecare caz studiat, spunem că acţionează o forţă. Dar forţa ce fel de mărime este?

— E : Vectorială.

— P : Şi atunci, ce trebuie să stabilim cu privire la această forţă?

— E : Direcţie, sens, modul.

— P : Deci?

— E : Direcţia în lungul resortului sau sforii, iar sensul ... deoarece forţa acţionează asupra bilei şi o reţine în mişcarea circulară, cred că spre centru.

— Alt E : Tot spre centru, deoarece forţa elastică acţionează în sens invers deformaţiei.

— P : Ambele justificări sînt bune. Deci am stabilit că un corp se află în mişcare circulară, cînd asupra lui acţionează o forţă, îndreptată întotdeauna spre centrul traiectoriei (direcţia forţei trece permanent printr-un punct fix, centrul). Toată clasa trasează pe maculator traiectoria circulară, fixaţi centrul şi mobilul într-un punct oarecare pe cerc. Figuraţi forţa ce acţionează asupra mobilului în mişcare circulară. Această forţă se numeşte *centripetă*, fiind îndreptată permanent spre centru. Ea este determinată de legătura dintre mobilul aflat în mişcare circulară şi corpul care-l reţine în această mişcare — interacţiunea dintre cele două corpuri. Dar corpul ce reţine mobilul în mişcare circulară, (resort, sfoară, ştift) am văzut că este deformat. Şi aţi precizat că acesta este deformat din cauza inerţiei bilei. Generalizînd, ce putem spune despre corpul ce reţine mobilul în mişcare circulară?

— Un E : De fapt, a spăiut o forţă ce a deformat resortul şi sfoara adică o forţă deformatoare.

— P : Bun. Care era orientarea acestei forţe?

— E : Dacă urmărim direcţia în care a fost deformat resortul, atunci desigur că va fi în sens invers forţei centripete.

— P : Foarte bine. Constituie concluzia ta o verificare a unei legi cunoscute?

— E : Da. De fapt cele două forţe ce rezultă în urma interacţiunii dintre cele două corpuri, ar fi acţiunea şi reacţiunea, conform legii a treia a dinamicii.

— P : Cele două forţe se vor anula, nu?

— Alt E : Nu, una acţionează asupra bilei, în mişcare circulară, iar cealaltă asupra resortului sau sforii.

— P : Bine. Această forţă ce acţionează asupra corpului ce determină mişcarea circulară a mobilului, se numeşte *centrifugă*. Plasaţi-o în desenul vostru. Reţineţi deci că aceste două forţe, centripetă şi centrifugă, apar concomitent (simultan), nu acţionează asupra aceluiaşi corp, sînt egale ca modul (conform principiului 3) au acelaşi suport (raza) şi sensuri contrare. Conform aceluiaşi principiu, în momentul cînd a dispărut una, a dispărut şi cealaltă, moment în care mişcarea circulară încetează, iar mobilul se mişcă prin inerţie (lipsa interacţiunii). Iată deci că am realizat ce ne-am propus, am stabilit cauza mişcării circulare care este interacţiunea dintre corpuri.

Pentru ora viitoare, stabiliţi schematic (pe caiet) forţele ce apar la :

a) mişcarea pendulului conic (propus pentru studiu de alte grupe).

b) mişcarea unei bile într-un canal circular.

c) mişcarea roţilor locomotivei la o curbă.

De asemenea, plasaţi-vă ca observatori în centrul de rotaţie al axului din experienţele efectuate şi precizaţi ce veţi observa (sau ca observatori pe bila în mişcare circulară).

LUCRĂRI DE LABORATOR

DETERMINAREA CONŢINUTULUI DE FIER DINTR-UN MINEREU

Prof. *N. CALINICENCO*, Iaşi

1. **Scopul lucrării.** Este de a pune în evidenţă printr-o metodă electromagnetică existenţa fierului în diferite minereuri (roci) şi de a determina în mod cantitativ conţinutul în fier al acestor roci.

2. **Descrierea instalaţiei experimentale.** Metoda se bazează pe fenomenele de inducţie şi în mare s-a construit un aparat numit balanţa electromagnetică a lui *Hughes* (1879). O astfel de balanţă de inducţie a fost perfecţionată de acad. *Ştefan Procopiu* pentru căutarea proiectilelor în corpul omului. În lucrările sale, cu titlul : Appareil d'induction pour la recherche des projectiles, în Révue générale de l'Électricité, tome I, 17, p. 9 888 şi apoi în Comptes Rendus Ac. Sc. Paris, *166*, 1917, se dă descrierea unui astfel de model. Iată în ce constă el : pe un nucleu de fier ce înfăşoară o bobină primară, pe porţiunea de mijloc, legată la curent

alternativ. La capetele nucleului sînt aşezate două bobine secundare, legate în opoziţie, iar capetele libere sînt legate la un galvanometru, prin intermediul unui detector cu galenă. Cînd în dreptul nucleului de fier există o masă de fier, de exemplu un glonţ, galvanometrul deviază. Deviaţia provine din dezechilibrul de inducţie, prin apropierea conductorului.

Sensibilitatea acestui model nu este suficientă pentru cercetarea fierului disipat în minereu. De aceea s-a recurs la o altă instalaţie, tot aşa de simplă, însă fără miez de fier. Iată principiul ei : se poate urmări pe fig. 1. Se utilizează un curent pulsatoriu, obţinut pe calea redresării unei semiperioade cu ajutorul diodelor D_1 şi D_2, de la un curent obţinut de la un generator acustic G_{ac}.

Curentul pulsatoriu într-un circuit cu inductivitate este analog cu un curent alternativ (ceea ce este foarte important pentru o lucrare cu o asemenea instalaţie), însă acest curent are nevoie de un singur sens.

Curenţii din ochiurile I şi II trec prin galvanometrul G în diferite sensuri, iar cu ajutorul rezistorului, $R_1 = 600\ \Omega$, se poate ajunge la echilibrul lor.

După cum se ştie rezistenţa bobinei faţă de un curent alternativ depinde de permeabilitatea magnetică μ, din interiorul bobinei. Prin urmare intensitatea curentului din ea va varia funcţie de însuşirile magnetice ale acestui mediu din interiorul bobinei.

Dacă introducem în bobina L_2 o substanţă feromagnetică se va produce o creştere a reactanţei inductive, ceea ce va duce la micşorarea curentului din ochiul II.

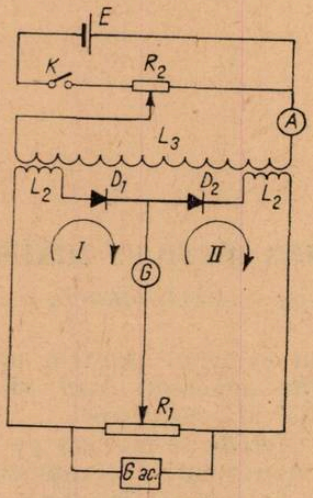


Fig. 1

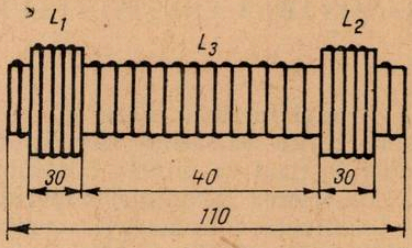


Fig. 2

Echilibrul se va strica, iar acul galvanometrului va devia. În caz că substanţa introdusă va fi diamagnetică reactanţa inductivă din L_2 se va micşora şi curentul care circulă prin bobină se va mări, astfel acul galvanometrului va devia în sens contrar. Pentru realizarea montajului

s-au folosit bobinele L_1 și L_2 cu dimensiunile din fig. 2. Bobina L_3 din fig. 2 este formată din 200 de spire, cu un fir de 0,5 mm pe întreaga carcasă a bobinei, iar bobinele L_1 și L_2 tot de cîte 200 spire, cu un fir de 0,2 mm.

Pentru experiență bobina L_3 se leagă la o sursă de curent cu tensiunea electromotoare $E = 10$ V, prin potențiometrul $R_2 = 30-50$ Ω, iar în interiorul bobinei L_2 se introduce proba de cercetat. Variind curentul în bobina L_3, cu potențiometrul R_2 și variind astfel intensitatea cîmpului magnetic vom obține dependența lui față de B, inducția magnetică.

3. Analiza rezultatelor experimentale. Din analiza diferitelor probe de minereu se trag următoarele concluzii:

a) Luînd aceeași cantitate de 15 g din roci aparținînd diferitelor regiuni ale țării, am constatat că permeabilitatea magnetică este diferită.

b) Din experiențele făcute cu cantități diferite din aceeași rocă (D) se observă din nou o variație a permeabilității magnetice și anume: permeabilitatea magnetică a minereului scade pe măsura scăderii cantității de rocă.

c) Metoda este expeditivă și practică și totodată aparatul se poate transporta și folosi chiar în zona geografică respectivă, unde se presupune că s-ar afla minereul de fier.

OSCILATOR ELECTRIC TRANZISTORIZAT PENTRU URMĂRIREA VIZUALĂ A OSCILAȚIILOR ELECTRICE ÎNTREȚINUTE

Stud. *OCTAVIAN BALTAG*, Univ. „A. I. Cuza", Iași

În programa de fizică de clasa XI-a în cadrul capitolului „Semiconductoare" un loc important îl ocupă lecțiile despre trioda semiconductoare și importanța ei în tehnică, iar la capitolul „Oscilații și unde electromagnetice" este programată tema oscilațiilor electrice întreținute și folosirea triodei ca generatoare a unor astfel de oscilații. Dintre experiențele didactice recomandate în programa sus amintită este prezentă „producerea oscilațiilor electrice de perioadă mare".

Avînd în vedere că una din lecțiile care prezintă dificultăți în predare, solicitînd în mod deosebit imaginația elevilor, este prezentarea funcției de oscilator a triodei, D. Manda în Revista de Fizică și Chimie, seria A 1965 a prezentat schema unui dispozitiv ce generează oscilații de perioadă mare, folosind tubul electronic 6π9. La montajul prezentat tensiunea de alimentare anodică este de 100—200 volți, ceea ce este dificil de obținut în orice școală.

Ţinînd cont de aceasta şi de faptul că înţelegerea funcţionării unui oscilator cu triodă poate fi uşurată prin folosirea unor oscilatori ce generează oscilaţii electrice de perioadă mare, am realizat un oscilator cu tranzistor (fig. 1) cu circuitul acordat LC pe colector şi reacţie de bază,

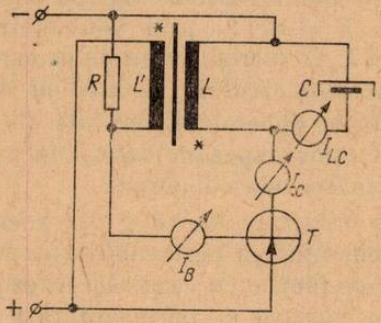


Fig. 1

realizată prin bobina L' cuplată inductiv cu bobina L (fig. 1), aparţinînd circuitului oscilant (semnul * indică începutul bobinajului). Baza este

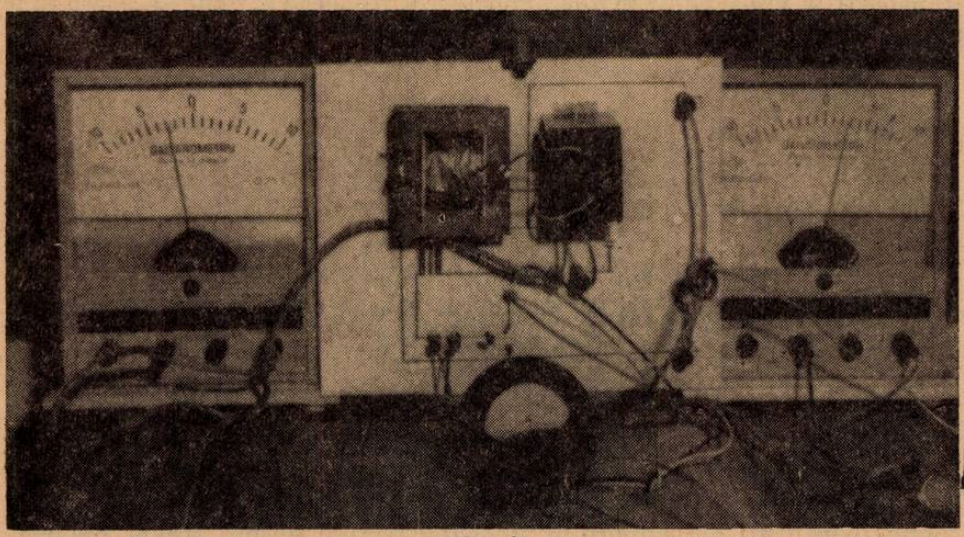


Fig. 2

polarizată prin rezistenţa R determinată experimental, aşa încît dispozitivul să intre în oscilaţie. Aparatul a fost construit în perioada practicii pedagogice la liceul nr. 5 din Iaşi.

Descrierea aparatului

Schema dispozitivului este prezentată în figura 1. El constă dintr-un tranzistor T luat dintr-un lot de piese defecte date laboratorului şcolii de către întreprindetea IPRS Băneasa; inductanţa este realizată dintr-un miez cu secţiunea de 6 cm^2, bobina L are 2 000 de spire, de 0,25 mm diametru, iar L' are 6 000 spire de 0,07 mm diametru. Condensatorul C are 2 500 μF/30 V (se poate folosi cu aceleaşi performanţe un transformator de reţea, la care L este primarul, iar L' secundarul de înaltă tensiune).

Condensatorul C poate fi obținut conectînd în paralel cîțiva condensatori de 500 μF/25 V aplicați la IPRS Băneasa. Rezistența este de 20 KΩ. Instrumentele de măsură pentru I_B, I_C, I_{LC} sînt galvanometre fabricate la IMD, folosite pe scara de 10 mA. Galvanometrele pentru măsurarea lui I_{LC} și I_C sînt prevăzute cu shunt de 10 Ω. Tensiunea de alimentare de 3—12 volți am obținut-o folosind baterii de buzunar, din comerț.

Modul de lucru

Pentru prezentarea fenomenului se procedează astfel: se alimentează dispozitivul, ținînd deschis circuitul de reacție (se scoate galvanometrul ce măsoară I_B din circuit). În circuitele celorlalți electrozi se găsesc galvanometrele amintite. Curentul de colector I_C va avea o valoare constantă I_0 (figura 3).

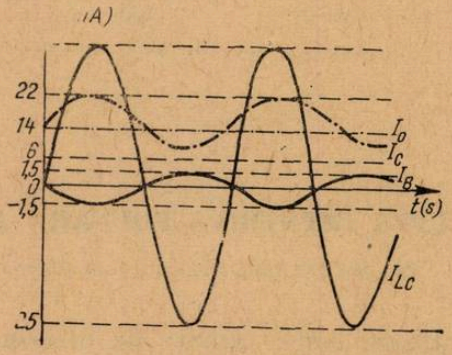


Fig. 3

Se închide circuitul de reacție; curentul de colector variază în jurul valorii I_0 cu aceeași frecvență ca și curentul din bază și circuitul rezonant. Se remarcă faptul că cei doi curenți I_B și I_C variază în sensuri opuse, respectînd legea lui Lenz; oscilațiile induse trebuind să aibă un astfel de sens, încît variațiile lor să se opună amortizării oscilațiilor.

Rezultate experimentale

a) dispozitivul permite determinarea inductanței L a circuitului oscilant, pe baza formulei lui Thomson: $T = 2\pi\sqrt{LC}$; s-au obținut următoarele rezultate:

n (osc.)	t (s)	$T = \frac{t}{n}$ (s)	C (F)	L (H)
20	22,8	1,14	$2.5 \cdot 10^{-3}$	13,3
20	22,8	1,14	$2.5 \cdot 10^{-3}$	13,3
30	34,6	1,15	$2.5 \cdot 10^{-3}$	13,6
30	34,8	1,16	$2.5 \cdot 10^{-3}$	13,7
40	47	1,17	$2.5 \cdot 10^{-3}$	14
40	46,6	1,16	$2.5 \cdot 10^{-3}$	13,7

$L_{mediu} = 13{,}6$ H

b) verificarea formulei lui Thomson; se schimbă capacitatea C cu o altă capacitate de același ordin de mărime; cunoscînd valoarea lui L determinată anterior și capacitatea C', se calculează perioada utilizînd formula cunoscută; se compară perioada calculată cu valoarea obținută experimental.

n (osc.)	t (s)	C' (F)	L (H)	$T_{exp.}$	T_{calc}
20	32,4	$5 \cdot 10^{-3}$	13,6	1,62	1,6
30	49,2	$5 \cdot 10^{-3}$	13,6	1,64	1,6
30	50,4	$5 \cdot 10^{-3}$	13,6	1,68	1,6
40	66,4	$51 \cdot 0^{-3}$	13,6	1,66	1,6

CATALIZA ÎN LUPTA ÎMPOTRIVA POLUĂRII ATMOSFEREI*)

Dr. *MARIA GRUIA*, Centrul de Chimie Fizică, București

Zi de zi, în întreaga lume, savanți din diverse domenii, chimiști fizicieni, meteorologi, medici, economiști, etc. se preocupă tot mai mult de lupta împotriva poluării atmosferei. Ziarele publică știri în legătură cu diferite manifestații de protest ale populației, care cere luarea unor măsuri urgente.

O privire în trecutul îndepărtat al planetei noastre ne arată că unele schimbări calitative ale compoziției aerului s-au petrecut și de-a lungul erelor geologice. Astfel, mediul gazos înconjurător nu conținea aproape deloc oxigen, care s-a acumulat ulterior ca rezultat al proceselor de fotosinteză [1].

Pe de altă parte, dispariția bruscă a unor specii de plante sau animale poate fi pusă în legătură cu schimbări rapide ale compoziției atmosferei înconjurătoare, la care ele nu s-au putut adapta.

Chiar și istoria relatează despre poluări locale ale atmosferei, ce au dus la pierderi de vieți omenești, cum ar fi emisia de gaze sulfuroase în zonele vulcanice, incendii de păduri, etc. În evul mediu, se vorbea despre „miasme" sau „aer otrăvit", probabil produse de diverse descompuneri, ce atrăgeau grave epidemii.

Apariția cărbunelui, utilizat pe scară tot mai largă drept combustibil, atît menajer cît și industrial , face să se ivească noi probleme. Se poate considera că în perioada de la începutul secolului XIV, pînă în secolul nostru, fumul și gazele produse de arderea cărbunelui au fost principalii poluanți atmosferici. Fumul, gazele, cît și mirosul neplăcut care rezultă datorită compușilor cu sulf, au provocat local, proteste; uneori

*) Lucrare prezentată la simpozionul S.S.F.C. de la Pitești, sept. 1971.

s-au luat şi măsuri, ce impuneau restrîngerea folosirii cărbunelui (Franţa, Anglia, sec. XIV-XIX), dar în general ele nu se prea aplicau.

Odată cu secolul XX, înlocuirea treptată a cărbunelui cu petrolul şi gazul natural, face ca produşii săi de ardere să nu mai ocupe primul loc în problema poluării atmosferei. În schimb, prin dezvoltarea vertiginoasă a industriei şi a transporturilor, se creează noi probleme, mai complicate.

Astfel, dacă în trecut poluarea atmosferei apare ca fenomen ocazional, astăzi ea devine o problemă de actualitate pentru toate ţările dezvoltate sau în curs de dezvoltare.

Poluarea aerului şi efectele sale

Fenomenul de poluare presupune alterarea compoziţiei obişnuite a aerului atmosferic, prin apariţia — în acesta — a unor substanţe cu efecte nocive. Poluanţii pot fi sub formă de pulberi, picături de lichid sau gaze. În general, poluarea are loc rareori cu un singur produs, mai adesea cu un amestec de substanţe.

Viaţa modernă determină apariţia unor surse diverse de poluare (tab. 1). Pe lîngă sursele menajere, existente şi în epocile anterioare, astăzi ponderea majoră revine surselor industriale şi celor ce rezultă din transporturi.

Tabela 1

Diversele surse de poluare

SURSE DE POLUARE	a) menajere	arderea combustibililor
		arderea resturilor menajere
	b) prin mijloace de transport	motoare Diesel
		motoare cu aprindere prin scînteie
	c) industriale	industria chimică
		industria metalurgică
		industria de prelucrare a produselor minerale
		industria de prelucrare şi rafinare a petrolului
		industria uşoară şi alimentară
		industria celulozei şi hîrtiei

Sursele industriale sînt extrem de variate, cuprinzînd aproape toată industria chimică şi petrolieră, metalurgică, siderurgică, industria uşoară, alimentară, etc.

Poluarea prin mijloace de transport apare datorită motoarelor Diesel şi a celor prin aprindere cu scînteie, şi în măsură din ce în ce mai redusă datorită locomotivelor cu aburi, ce sînt pe cale de înlocuire.

Varietatea surselor de poluare explică și varietatea extrem de mare a poluanților, care cuprind o serie de compuși anorganici și organici [2] (tab. 2).

Tabela 2

Poluanți organici și anorganici

Poluanți organici	— Hidrocarburi alifatice și aromatice — Alcooli — Fenoli — Acizi organici — Anhidride — Cetone — Aldehide — Derivați halogenați — Mercaptani — Amine — Terpene, etc.
Poluanți anorganici	— Oxidul de carbon — Bioxidul de carbon — Bioxidul de sulf — Trioxidul de sulf — Hidrogenul sulfurat— Amoniacul — Oxizii de azot — Clorul — Acidul clorhidric — Acidul fluorhidric — Bioxidul de siliciu — Compuși cu Pb, etc.

De o nocivitate deosebită, datorită toxicității lor ridicate, cît și a frecvenței cu care apar, sînt gazele sulfuroase (bioxidul și trioxidul de sulf), oxizii de azot, oxidul de carbon, hidrocarburile.

După cum am amintit , rareori un poluant apare singur. Cel mai adesea , avem de-a-face cu un amestec de substanțe, care interacționează între ele, sau reacționează chiar cu constituenții normali ai aerului. Uneori, aceste reacții se produc prin fotoactivare, sub acțiunea razelor solare.

Un fenomen de acest tip, mult studiat, este apariția „*smog*" — ului deasupra orașelor mari (Londra, Los-Angeles, Milano, Tokyo, etc.)

Cuvîntul „*smog*" derivă de la termenii *smoke* — fum și *fog* = ceață (smoke-fog). Se crede [1] că el a fost introdus în raportul lui Des Voeux, în 1911, la Conferința de la Manchester a Ligii de înlăturare a fumului din Marea Britanie (Conference of Smoke Abatement League of Great Britain), cu privire la decesele survenite datorită „smoke-fog-"ului de la Glasgow, din Scoția, din 1909.

Deși termenul este general aplicat, studiile [3] arată că smogul se deosebește de la un oraș la altul, de la o zonă la alta, în funcție de sursele de producere și în funcție de condițiile meteorologice locale. În general, formarea sa este favorizată de procesul de inversiune termică, ce împiedică dispersarea gazelor în păturile superioare ale atmosferei.

Haagen-Smith [1] a arătat că smog-ul din zona orașului Los-Angeles, ce provoacă lipsă de vizibilitate, iritații ale ochilor și căilor respiratorii, este rezultatul iradierii cu raze ultraviolete a hidrocarburilor și oxizilor de azot. Produșii intermediari sau finali ce iau naștere sînt foarte variați și depind de condițiile de concentrație, umiditate, temperatură, etc. O contribuție de 80 % în formarea acestui smog, în zona orașului Los-Angeles, revine gazelor de eșapament de la automobile [3].

Cîteva cifre ne pot ilustra amploarea fenomenului de poluare. Astfel, numai cantitatea totală de hidrocarburi eliminate în zona orașului Los-Angeles [4] a fost de 780 tone/zi în anul 1940, considerat ultimul an cu aer curat și a crescut la 2 040 tone/zi în anul 1967. S-a calculat că, fără introducerea măsurilor de eliminare a poluării aerului, această cantitate

ar fi ajuns la 4 680 tone/zi în anul 1969. Se prevede ca în anul 1980, prin aplicarea măsurilor amintite, să se revină la valoarea anului 1940 . (fig. 1).

Efectele pe care le au aceste concentrații crescute de gaze toxice din atmosferă asupra oamenilor, animalelor și plantelor sînt uneori deosebit de grave.

Datele cu privire la secolele trecute sînt sporadice și neconcludente. Dar în secolul nostru s-au întreprins studii dezvoltate, care au arătat că

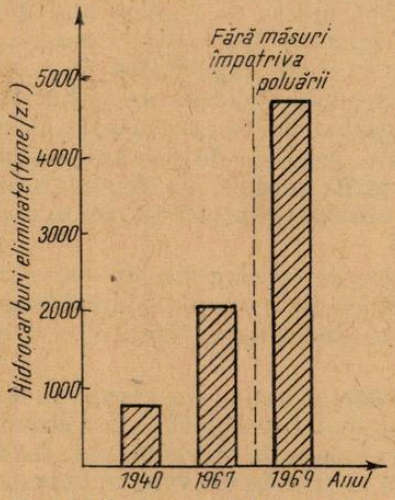


Fig. 1. Creșterea poluării cu hidrocarburi în zona orașului Los-Angeles.

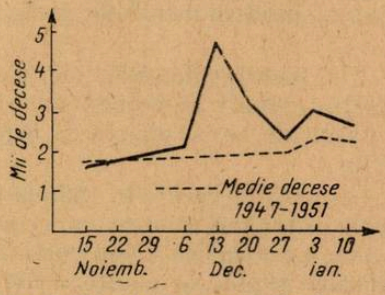


Fig. 2. Numărul crescut de decese înregistrate în decembrie 1952, la Londra, comparativ cu media anilor precedenți.

poluarea poate produce decese, în special în rîndul cardiacilor și a celor ce suferă de boli ale aparatului respirator.

Un exemplu este oferit de episodul dramatic din decembrie 1952, de la Londra, cînd s-au înregistrat între 3 500 — 4 000 de decese. Ceața formată nu s-a putut dispersa datorită unei inversiuni de temperatură și s-a localizat în special în valea largă a Tamisei. În fig. 2 sînt arătate comparativ, numărul de decese înregistrate în anii 1947—1951 și cele înregistrate în perioada acelei calamități. [5]

Recent, la Colocviul organizat de Asociația pentru controlul poluării aerului, din Statele Unite, un grup de cercetătotri de la Colegiul de Medicină Albert Einstein a arătat că poluarea aerului este cauza morții precipitate a 10 000 de persoane pe an, în orașul New-York, adică 12% din totalul deceselor ce se înregistrează anual [6].

Efectele distrugătoare ale poluanților atmosferici se resimt și asupra plantelor. În afară de anhidrida sulfuroasă, ale cărei efecte nocive asupra vegetației sînt cunoscute încă de la începutul secolului [7], odată cu expansiunea industrială s-au pus în evidență și distrugeri datorate fluorului și compușilor săi [8]. Totodată, concentrația atomosferică de fluor, necesară pentru a produce distrugeri pe perioade îndelungate, este de 1 000 ori mai mică decît cea de bioxid de sulf.

Prin observații efectuate timp de 6 ani [9], s-a studiat influența pe care o exercită poluanții obișnuiți din zona Los-Angeles, asupra culturilor de lămîi și portocali. Rezultatele au arătat o scădere însemnată a consu-

nului de apă și a fotosintezei, dublate de o cădere a fructelor și de scăderea randamentului citricelor mature, pînă la 50 %.

Pierderile economiei datorate distrugerilor produse de poluanți sînt greu de evaluat. De pildă, unele date [10] indică, în California, pierderi anualei de 8 milioane de dolari, iar pe coasta de est a Statelor Unite, de 18 milioane de dolari, prin distrugerile suferite de culturi.

O comportare interesantă se constată la unele plante ce prezintă simptome specifice și pot fi folosite drept mijloc de control al poluării. Astfel, într-un studiu efectuat la „University College" din Swansea, s-a constatat că anumite sorturi de mușchi [11] au capacitatea de a reține particulele metalice (de plumb, cadmiu, zinc, cupru, cobalt, etc.) din atmosferă. Cantitatea de metal absorbit de aceștia se poate apoi măsura cu spectometrul, realizîndu-se astfel determinarea gradului de poluare al aerului în zona respectivă. Bazat pe aceasta, în țările nordice, s-a efectuat o cartografie a răspîndirii metalelor grele, prin stabilirea conținutului lor în mușchi [12].

Nici instalațiile, utilajele, materialele de construcție, nu sînt scutite de efectul coroziv al poluanților atmosferici. De exemplu, sînt binecunoscute discuțiile ce se poartă în legătură cu distrugerile suferite de operele de artă.

Cercetările făcute în 1892 la frizele Partenonului din Atena au măsuratunele distrugeri minore, survenite timp de 2 240 ani. O nouă examinare, din 1938, a indicat că unele porțiuni sînt aproape de nerecunoscut, datorită deteriorării rapide ce a intervenit în 136 de ani de dezvoltare industrială [13].

Catalizatorii, mijloc modern de combatere a poluării atmosferei

În mod inevitabil, frecvența și nocivitatea fenomenelor de poluare a determinat luarea unor măsuri. Se constată, în ultimii 20 de ani, introducerea treptată în diverse țări europene și în Statele Unite a unor legislații specifice în legătură cu problemele de poluare [14].

În țara noastră, deși problemele nu îmbracă forme atît de grave ca în alte țări, în urma industrializării intensive, este necesar să se ia măsuri din timp. În acest scop, a luat ființă Comisia pentru combaterea poluării atmosferei, a Academiei R.S.R., ce coordonează cercetările din acest domeniu.

Lupta împotriva poluării se duce în două direcții :

— prin prevenirea fenomenelor de poluare. ;

— prin colectarea, transformarea și anihilarea efectului nociv a poluanților.

Desigur, în măsura posibilităților, este de dorit să se aleagă prima cale. În acest sens, menționăm studiile ce se întreprind pentru a înlocui compușii cu Pb, respectiv tetraetilplumbul, folosit pentru ridicarea cifrei octanice a benzinelor, cu alți aditivi, mai puțin nocivi. Se încearcă [15] tratarea gazelor cu compuși organici cu stabilitate termică, pentru reținerea plumbului ; se utilizează astfel substanțe ce posedă grupuri carbonil sau hidroxil, care pot fi sub formă de rășini poliimidice, poliesterice, fenolice, etc. În sfîrșit, o altă metodă preconizează introducerea unor aditivi în benzine și uleiuri, care să reducă fumul și emisiile de CO și de hidrocarburi ale gazelor de eșapament [16], [17].

Cel mai adesea însă, activitatea de combatere a fenomenelor de poluare atmosferică se îndreaptă spre cea de-a doua cale, ce presupune colectarea poluanţilor sau transformarea lor în substanţe inofensive.

Astăzi, pe lîngă metodele clasice, larg răspîndite, se utilizează tot mai mult metodele catalitice. Ele se bazează pe transformarea catalitică a componentului sau componentelor nocive în produşi inofensivi, sau în produşi ce pot fi uşor reţinuţi şi eventual reintroduşi în ciclul de fabricaţie.

Astfel în instalaţiile ce produc SO_2 ca material poluant, se utilizează înlăturarea sa prin oxidare catalitică pe catalizatori de V_2O_5. Trioxidul de sulf format, prin absorbţie în acid sulfuric 80- 85 %, urmează calea normală din instalaţiile de fabricare a acidului sulfuric.

O sursă majoră de poluare o constituie gazele de eşapament ale motoarelor, fie că este vorba de motoare Diesel, fie de motoare cu aprindere prin scînteie.

Concentraţia acestor poluanţi variază de la un motor la altul şi depinde şi de modul de reglare al motorului. Pentru a putea face o comparaţie, în tab. 3 se indică valorile concentraţiilor maxime de substanţe poluante, pentru două tipuri de motoare [18]. Reiese de aci că motoarele Diesel poluează atmosfera cu mult mai puţin decît cele ce funcţionează prin aprindere cu scînteie. La rîndul lor, între aceste din urmă tipuri de motoare există diferenţe, cele în doi timpi eliminînd gaze mai nocive decît cele în patru timpi.

Tabela 3

Concentraţii maxime în gazele de eşapament

	Oxid de carbon %	Hidrocarb. p.p.m.	Oxid de azot p.p.m.	Bioxid de sulf p.p.m.	Particule g/m^3
Motoare Diesel	0,1	300	4000	200	0,5
Motoare cu aprindere prin scînteie	10	1000	4000	60	0,01

Totuşi în ceea ce priveşte motoarele Diesel, trebuie subliniat faptul că, deşi gazele lor de evacuare sînt mai puţin concentrate în componenţi dăunători, ele continuă să constituie o problemă, deoarece — de cele mai multe ori — aceste motoare funcţionează în spaţii închise (hale, mine, etc.) şi în mod inerent se produce relativ rapid poluarea aerului înconjurător.

În purificarea gazelor de eşapament, o metodă cu mare viitor şi totodată eficace, constă în oxidarea catalitică a substanţelor toxice.

De la început trebuie subliniat că aplicabilitatea acestei metode este mare şi ea nu se rezumă numai la gazele evacuate de motoare. În aceeaşi măsură, poate fi aplicată în cazul proceselor industriale, deoarece majoritatea poluanţilor sînt combustibili.

Problema apare ca fiind destul de complexă. Catalizatorii utilizaţi trebuie să îndeplinească o serie de condiţii şi anume :

a) Eficacitate pentru mai multe reacţii, deoarece rareori există un singur poluant ce trebuie transformat. De exemplu, în cazul gazelor de

eşapament, ei trebuie să realizeze oxidarea $CO \rightarrow CO_2$, oxidarea hidrocarburilor $\rightarrow CO_2 + H_2O$; transformarea $NO \rightarrow N_2$.

b) Rezistenţă la otrăvire. Adesea, gazele conţin compuşi cu sulf, plumb, etc., ce pot constitui o otravă pentru catalizatori.

c) Rezistenţă mecanică şi termică. Catalizatorul este supus unor şocuri termice — gazele vin fierbinţi. Totodată, condiţiile de funcţionare ale motoarelor impun o bună rezistenţă la frecare, sfărîmare, trepidaţii, etc.

d) Un domeniu de temperatură de lucru destul de larg. Problema este cu deosebire mai dificilă pentru cazul gazelor de eşapament, cînd gazele la pornire sînt mai reci, şi totodată avem maximum de produşi nearşi. Pe parcurs, în schimb, se poate ajunge la temperaturi foarte ridicate. În industrie, asemenea probleme se remediază mai uşor, prin adaptarea circuitelor de încălzire-răcire, de la caz la caz.

e) Să prezinte o cădere de presiune cît mai mică, la trecerea gazelor.

f) Să posede o perioadă de activitate suficient de îndelungată şi — în acest domeniu — cerinţele sînt într-o continuă creştere. Dacă în 1965 se considera că o eficacitate de 300 de ore este suficientă, astăzi se cer peste 2 000 de ore de activitate [19]. În acelaşi timp, catalizatorul trebuie să posede capacitatea de a fi regenerat.

g) Pentru cazul purificării gazelor de eşapament, mai intervine problema amplasării catalizatorului. Aceasta se face de obicei, în toba de eşapament, dar în funcţie de cele discutate mai sus, trebuie aleasă zona optimă din punct de vedere termic. Totodată, intervin probleme de coroziunea materialului metalic din care este construită toba de eşapament, ce joacă de fapt rolul unui reactor catalitic.

Experienţa anterioară a cercetărilor din domeniul proceselor de oxidare a arătat că metalele platinice, preferabil sub o formă fin divizată, dispersate pe un suport, au fost folosite cu succes drept catalizatori pentru oxidarea oxidului de carbon, cît şi a unei serii întregi de molecule organice în prezenţa aerului sau a oxigenului .

Platina, singură sau în combinaţie cu alte metale nobile, este catalizatorul preferat pentru combaterea poluării aerului. Acest catalizator se dovedeşte a fi eficace, stabil pînă la cca 750°C şi rezistent la majoritatea otrăvurilor, exceptînd plumbul şi fosforul.

Încă din 1938, Kotelkov [20] a propus Pt pe suport metalic, nicrom, pentru purificarea gazelor de eşapament de oxidul de carbon.

Literatura de specialitate [21] indică apoi cercetări intense efectuate de Houdry, care în 1950 propune catalizatorul de Pt „oxicat", format din Pt depusă în strat subţire (0,05 mm), printr-o metodă specială, pe un suport de faianţă, prealabil tratat cu oxid de aluminiu. Catalizatorul a prezentat stabilitate la utilizare timp de 1 600 de ore, la autovehicule.

Mai tîrziu, în URSS s-a elaborat un catalizator de Pt pe ceramică, apoi pe oxid de aluminiu, după metoda Institutului de chimie fizică Karpov.

În lucrări mai recente [18, 22] Acres propune catalizatori de Pt pe suport ceramic în formă de fagure, de la firma Du Pont. Aceşti catalizatori posedă o mare rezistenţă la frecare, o înaltă activitate, o slabă cădere de presiune , ceea ce îi face să fie foarte convenabili pentru o serie de procese industriale ce elimină gaze nocive. Prin diferite încercări, s-a arătat eficacitatea lor la eliminarea poluării cu substanţe organice ce produc fum, miros sau a poluării cu gaze de eşapament.

Totuşi, catalizatorii de Pt prezintă dezavantajul unui preţ de cost foarte ridicat. Totodată, nu este deplin clarificat rolul lor în procesele de

descompunere a oxizilor de azot. În acest sens, Acres [18] arată că în condițiile ce există în gazele de eșapament ale motoarelor Diesel, adică în condițiile unui exces de oxigen, catalizatorul de Pt propus de el nu modifică concentrația de oxizi de azot. Acest cercetător presupune că ar fi posibil ca printr-un sistem catalitic în două etape să se poată rezolva problema. În asemenea situație, ar trebui ca în prima etapă să se lucreze în condiții reducătoare pentru îndepărtarea oxidului de azot, iar în cea de-a doua, în condiții oxidante, să se îndepărteze oxidul de carbon și hidrocarburile.

Un alt catalizator mult cercetat este cel de Pd pe suport. Sokolski și colab. [21] studiază în mod deosebit cinetica și mecanismul reacției de oxidare a CO pe acești catalizatori și se preocupă totodată de problema metodelor de preparare a unor asemenea catalizatori cu activitate sporită. Rezultatele lor sînt încurajatoare.

În afară de catalizatorii metalici, ce utilizează metalele nobile, s-au studiat mult și catalizatorii oxizi.

Pe lîngă prețul de cost mai scăzut, cercetarea acestor catalizatori urmărește și găsirea acelei compoziții optime, care să permită oxidarea oxidului de carbon, a hidrocarburilor și transformarea NO.

Literatura de specialitate este bogată în special în patente, ce propun o serie de oxizi metalici, ca CuO, CoO, Fe_2O_3, MnO_2, Cr_2O_3, NiO, etc. De obicei, se preconizează utilizarea unei combinații de cel puțin doi oxizi, pe un suport de alumină, pe zeoliți sau pe un suport ceramic, ce conferă o bună rezistență mecanică și termică.

În fig. 3, sînt înscrise în mod comparativ după Sokolski, rezultatele obținute pe diverși catalizatori, în reacția de oxidare a oxidului de carbon, în funcție de temperatura de reacție. Încercările descrise de acest autor s-au făcut în laborator, pe un amestec de 1% CO în aer, considerîndu-se oxidarea CO în CO_2 ca reacție de referință pentru aprecierea activității catalizatorilor. Dintre numeroasele probe testate de către Sokolski sau

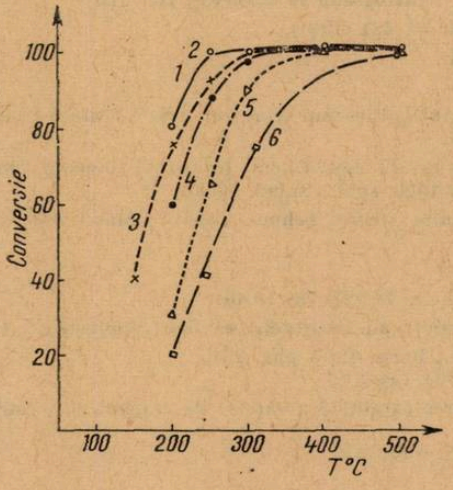


Fig. 3. Rezultate comparative, pe diverși catalizatori, în reacția de oxidare a oxidului de carbon. Curba 1 — cat. $Pt-Al_2O_3$. Curba 2 — cat. $Pd-Al_2O_3$. Curba 3 — cat. $Pt-Ru-Al_2O_3$ Curba 4 — cat. $CuO-Al_2O_3$. Curba 5 — cat. $CuO-Cr_2O_3$. Curba 6 — cat. $CuO-Fe_2O_3$ — argilă

de către alți cercetători, am ales 5 catalizatori mai caracteristici. Se constată activitatea foarte ridicată a catalizatorilor metalici pe suport. Astfel, $Pt-Al_2O_3$ și $Pd-Al_2O_3$, încă la 200°C, realizează o transformare de 80 %. Ei sînt urmați îndeaproape de catalizatorul Pt- Ru- Al_2O_3.

Dintre catalizatorii formați din amestecuri de oxizi, se remarcă activitatea ridicată a catalizatorului de oxid de cupru și a celui de oxid de cupru — oxid de crom. În schimb, acești catalizatori sînt otrăviți de vaporii de apă.

În general, s-a recomandat folosirea unor amestecuri de oxizi, pentru a realiza o contribuție cumulată a diverselor componente active. De aceea. multe studii au fost dirijate spre găsirea raportului cantitativ optim, între componente.

Această problemă continuă să preocupe pe cercetătorii din diverse colțuri ale lumii. Ei încearcă, prin toate mijloacele, să găsească o rezolvare cît mai ieftină și cît mai eficace.

Prin rezultatele încurajatoare de pînă acum, se pare că în acest domeniu, cataliza va putea oferi o soluție convenabilă și cu posibilități largi de aplicare.

BIBLIOGRAFIE

[1] *L.A. Chambers* în: „Air Pollution and its Effects", vol. I, A.C. Stern, edit., ed. II-a Academic Press, New-York, 1968, pag. 1.

[2] *G. Baiulescu* și *P. Mărcuță* — Rev. Chimie *22*, 51, (1971).

[3] *J.R. Goldsmith* — Acqua Ind., Inquinamento, *1969*, 11 (6), 17.

[4] *R. Sugimoto* — Chem. Spec. Mfr. Ass., Proc. Ann. Meeting 1969, *56*, 61 (1970).

[5] *J.R. Goldsmith* în: „Air Pollution and its Effects", vol. I, A.C. Stern, edit., ed. II-a Academic Press, New-York, 1968, pag. 547.

[6] „Scînteia" din 6 septembrie 1971.

[7] *C. Stafford Brandt* și *W.W. Heck* în: „Air Pollution and its Effects", vol. I, A.C. Stern edit., ed. II-a, Academic Press, New-York, 1968, pag. 401.

[8] *G. Bredeman* — „Biochemie und Physiologie des Fluors", Akad. Verlagsges., Berlin, 1951

[9] *R.C. Thompson, C.O. Taylor, L.B. Richard* — Citrograph *1970*, 55 (5), 165, 190.

[10] *J.T. Middleton* — Ann. Rev. Plant. Physiol. *12*, 431 (1961).

[11] „România Liberă" din 24 septembrie 1971.

[12] *J.P. Detrie* — Poll. Atm. *49*, 40 (1971).

[13] *H.J. Plenderleith* în: „The Conservation of Antiquities and Works of Art ", Oxford Univ. Press, London and New-York, 1957.

[14] *A.R. Smith* — „Air Pollution", Monograph nr. 22, Soc. Chem. Industry, London, 1966

[15] *K.C. Salvoja* — Brit. Pat. 1.191.552 (13 May 1970, appl. 22 Jan. 1968).

[16] *B.V. Losikov, K.N. Golovanov* și *S.M. Livshits* — Him. Tehnol. Topliv. i Masel, *170*, 15 (8), 54.

[17] — Poll. Atm. *49*, 57 (1971)

[18] *G.J.K. Acres* — Platinum Met. Rev., *14* (1), 2; *14* (3), 78 (1970).

[19] *R. Montarnal, J.F. Le Page* în: „La Catalyse au laboratoire et dans l'industrie", B. Claudel, coord., Masson et Cie, edit., Paris, 1967, pag. 231.

[20] *M.S. Gerșenovici, N.Z. Kotelkov* — Motor *1938*, (4), 31.

[21] *D.V. Sokolski* și *N.M. Popova* — „Purificarea catalitică a gazelor de eșapament", Edit. Nauka, Alma-Ata, 1970.

[22] *G.J.K. Acres* — Platinum Met. Rev., *15*, (1), 9 (1971).

EFECTE DE MEMORIE LA ADSORBȚIA GAZELOR PE SEMICONDUCTORI SUB INFLUENȚA IRADIERII*)

MIHAELA CONSTANTINESCU, Centrul de Chimie Fizică, București.

Efectele de memorie la adsorbție în urma iradierii au fost puse în evidență experimental pentru prima dată în anul 1965 [1]. Studiile experimentale întreprinse ulterior [2—4] au condus la descoperirea mai multor forme de manifestare a memoriei la adsorbție, precum și existența sa în procesul catalitic. Problema a fost abordată și din punct de vedere teoretic [5, 6] și anume s-a construit un model pe baza căruia au putut fi explicate fenomenele observate.

La efectele de memorie s-a ajuns prin studierea influenței iradierii asupra proprietăților adsorbtive și catalitice ale adsorbanților și catalizatorilor semiconductori. Astfel s-a constatat că modificările provocate în semiconductori în urma iradierii se pot menține o perioadă de timp după ce iradierea a fost întreruptă . Acest fenomen a căpătat denumirea de *memorie* și este legat de timpul în care semiconductorul își amintește de iradierea prelalabilă. Există trei cazuri și anume :

1. Semiconductorul supus iradierii își amintește de ea un timp practic nelimitat. Este cazul în care iradierea provoacă reacții nucleare în semiconductor conducînd la apariția impurităților chimice. Este un proces ireversibil prin care echilibrul electronic se deplasează și se conservă în noua stare.

2. Semiconductorul își amitește de iradiere o perioadă de timp după care treptat o uită. În acest caz iradierea conduce la apariția defectelor structurale, fără a modifica compoziția chimică a semiconductorului. La întreruperea iradierii semiconductorul revine treptat la starea inițială și aceasta cu atît mai repede cu cît temperatura este mai mare.

3. Semiconductorul uită iradierea în momentul întreruperii ei. În acest caz iradierea produce o ionizare directă, adică conduce la crearea purtătorilor de sarcină de neechilibru și prin aceasta distruge echilibrul electronic; după întreruperea iradierii, semiconductorul revine practic instantaneu la starea inițială de echilibru.

Este posibil însă ca semiconductorul să prezinte fenomenul de memorie o perioadă de timp, chiar în cazul în care nu au apărut defecte structurale, generate de iradiere. Acest tip de memorie este cel mai interesant pentru adsorbție și cataliză și va forma obiectul considerațiilor ulterioare.

Efectele de memorie au putut fi puse în evidență numai pe sistemele în care iradierea influențează asupra capacității de adsorbție și a activității catalitice. Iradierea poate fi însoțită de crearea centrilor de adsorbție și în acest caz contactul semiconductorului cu gazul conduce la procesul de *fotoadsorbție*; cînd iradierea distruge centrii de adsorbție și este capabilă să rupă legătura dintre gaz și absorbant are loc procesul de *fotodesorbție*. În continuare vom considera pentru determinare cazul în care iradierea conduce la apariția centrilor de adsorbție.

În cazul adsorbției au fost puse în evidență trei tipuri de memorie

---

* Lucrare prezentată la Simpozionul S.S.F.C. de la Pitești, sept. 1971

1. Modificarea capacității de adsorbție la întuneric în urma iradierii prealabile

S-a efectuat experiența redată în figura 1a.

Adsorbantul a fost supus iradierii în vacuum un interval de timp (t_1-t_0); a fost apoi menținut în întuneric pînă la momentul t_2, cînd s-a introdus adsorbatul (gazul). S-a studiat influența iradierii prealabile din intervalul (t_1-t_0) asupra adsorbției la întuneric, care începe din momentul t_2. Pentru aceasta s-a lucrat pe două probe una neiradiată în prealabil,

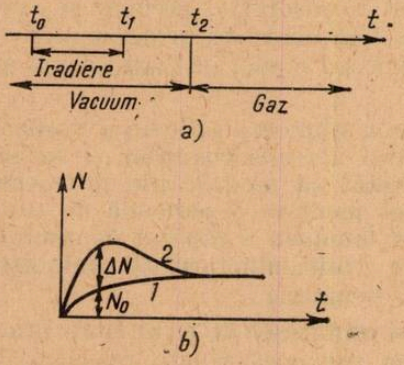


Fig. 1

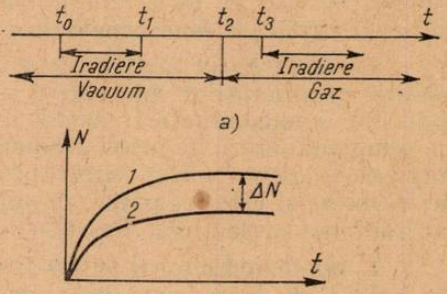


Fig. 2

cealaltă iradiată. Rezultatele obținute sînt redate în figura 1b, în care s-a reprezentat cantitatea adsorbită la întuneric N, în funcție de timp, pentru cele două cazuri, respectiv curbele 1 și 2.

Se observă că mărirmea ΔN, corespunzătoare diferenței dintre curbele 2 și 1, caracterizează tocmai creșterea capacității de adsorbție la întuneric datorită iradierii prealabile, reprezintă deci fenomenul de memorie.

Experimental se constată că:

— ΔN este cu atît mai mare cu cît perioada iradierii prealabile este mai mare, deci cu cît intervalul (t_1-t_0) este mai mare;

— ΔN este cu atît mai mic cu cît intervalul care separă întreruperea iradierii de momentul introducerii gazului (adică t_2-t_1) este mai mare.

2. Modificarea capacității de fotoadsorbție în urma iradierii prealabile

S-a efectuat experiența redată în figura 2a.

Iradierea prealabilă în vacuum are loc în intervalul (t_1-t_0). Pînă la momentul t_2 urmează o perioadă de întuneric, după care este introdus gazul. La momentul t_3 este declanșată iradierea și are loc fotoadsorbția. Se studiază influența iradierii prealabile din intervalul (t_1-t_0) asupra fotoadsorbției care începe la momentul t_3.

Rezultatele sînt redate în figura 2b în care s-a reprezentat cantitatea fotoadsorbită în funcție de timp pentru o probă neiradiată în prealabil (curba 1) și pentru o probă iradiată în prealabil (curba 2).

Se observă că iradierea prealabilă micșorează capacitatea de fotoadsorbție. Mărimea ΔN reprezintă tocmai diferența dintre cantitatea fotoadsorbită pe o probă neiradiată în prealabil, față de cantitatea fotoadsorbită pe o probă iradiată în prealabil, deci corespunde fenomenului de memorie.

Experimental s-a arătat că :

— capacitatea de fotoadsorbţie a unei suprafeţe iradiate în prealabil este cu atît mai mică cu cît perioada iradierii prealabile (intervalul t_1-t_0) este mai mare.

— capacitatea de fotoadsorbţie a unei suprafeţe iradiate în prealabil este cu atît mai mare cu cît perioada de întuneric cuprinsă între întreruperea iradierii prealabile şi declanşarea iradierii pentru producerea fotoadsorbţiei (intervalul t_3-t_1) este mai mare.

Efectele de memorie prezentate pînă acum apar ca şi cum adsorbantul ţine minte iradierea prealabilă şi se comportă corespunzător, modificîndu-se capacitatea de adsorbţie şi de fotoadsorbţie.

3. Efectul de memorie postradiativ

Efectul de memorie postradiativ este un alt tip de memorie al adsorbţiei şi constă în menţinerea capacităţii de fotoadsorbţie un interval de timp după ce iradierea a fost întreruptă.

S-a efectuat experienţa redată în figura 3a.

Peste proba neiradiată, la momentul t' a fost introdus gazul pînă cînd se atinge saturarea la întuneric. Apoi la momentul t_0 se declanşează iradierea, care este însoţită de fotoadsorbţie. La momentul t_1 se întrerupe iradierea. Se urmăreşte cantitatea adsorbită din acest moment.

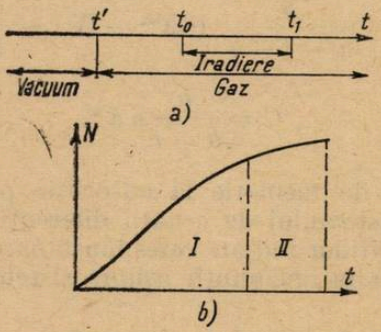


Fig. 3

Rezultatele obţinute sînt redate în figura 3b, în care este reprezentată cantitatea adsorbită în funcţie de timp. Domeniul I corespunde fotoadsorbţiei sub influenţa iradierii, iar domeniul II caracterizează fotoadsorbţia care se produce prin „inerţie" (deoarece iradierea a fost întreruptă) şi corespunde efectului de memorie postradiativ. Acest efect se datorează în întregime iradierii, deoarece după cum am văzut, proba era saturată la întuneric cu gaz.

În general efectele de memorie la adsorbţie depind puternic de temperatură şi anume scad odată cu creşterea temperaturii. De asemenea depind de sistemul gaz-solid întrebuinţat şi de iradierea folosită.

Din punct de vedere teoretic fenomenele de memorie au putut fi explicate pe baza teoriei electronice a chemisorbţiei pe semiconductori, utilizîndu-se un model în care drept centri de adsorbţie sînt consideraţi purtătorii de sarcină de neechilibru creaţi în urma iradierii şi localizaţi pe defectele biografice ale suprafeţei, adică pe defectele de natură neradiativă.

Se pot deduce două ecuaţii diferenţiale, una care redă legea de variaţie a concentraţiei centrilor de adsorbţie sub influenţa iradierii, iar cealaltă pentru cinetica adsorbţiei la modificarea concentraţiei centrilor de adsorbţie. Cele două ecuaţii sînt :

$$X(t) = \mu X^* - (\mu X^* - X_i) \exp [- a (t - t_i)] \quad (1)$$

$$N(t) = A \exp [- a (t - t_i)] + B \exp [- (b + c) (t - t_i)] + C \quad (2)$$

în care : X este numărul total al centrilor de adsorbţie (liberi şi ocupaţi) ; X^* — concentraţia superficială a defectelor structurale ; N — concentraţia superficială a particulelor adsorbite ; a, b, c şi μ mărimi care depind de starea electronică a sistemului (lărgimea benzii interzise dintre zona de valenţă şi zona de conducţie a semiconductorului, poziţia nivelului Fermi, poziţia nivelului superficial corespunzător particulei adsorbite, concentraţia purtătorilor de sarcină liberi şi a celor creaţi în urma iradierii) precum şi de energia de activare a adsorbţiei şi de energia de legătură a particulelor adsorbite. Ecuaţiile au fost obţinute în ipoteza că la momentul $t = t_i$, $X = X_i$, şi $N = N_i$; A, B, şi C sînt date de relaţiile :

$$A = \frac{b}{a - b - c} (\mu X^* - X_i) \quad (3)$$

$$B = N_i - \frac{b}{a - b - c} (\mu X^* - X_i) - \frac{b}{b + c} \mu X^* \quad (4)$$

$$C = \frac{b}{b + c} \mu X^* \quad (5)$$

Diferitele forme de memorie la adsorbţie prezentate pînă acum, corespund soluţiilor sistemului de ecuaţii diferenţiale (1) şi (2) rezolvat prin considerarea condiţiilor iniţiale corespunzătoare fiecărui caz în parte. A fost efectuat un studiu amănunţit asupra sistemului şi a formei soluţiilor [7].

Ca şi fenomenele de adsorbţie, fenomenele catalitice pot prezenta efecte de memorie la iradierea prealabilă. Această memorie se manifestă prin creşterea vitezei de reacţie în intervalul de întuneric care urmează imediat după perioada de iradiere, în comparaţie cu viteza staţionară a reacţiei de întuneric.

Cercetările asupra acestor fenomene se află la început, de aceea s-au studiat puţine sisteme. Rezultate concludente au fost obţinute pentru oxidul de zinc iradiat cu radiaţii ultraviolete şi pentru alumină iradiată cu raze X.

BIBLIOGRAFIE

1. *R. Coehkelbergs, A. Crucq, J. Decol, M. Randoux* şi *L. Timmerman.*, J. Phys. Chem. Solids 26, 1983 (1965).
2. *I. Solonitin.*, Kinetika i Kataliz., 4, 250 (1965).
3. *L. Liaşenko* şi *I. Gorohovatski* Doklady Akad. Nauk S.S.S.R. 186, 1125 (1969).
4. *M. Constantinescu* şi *E. Segal* Rev. Roumaine Chim., 15, 371 (1970).
5. *F. Volkenstein* şi *V. Baru* Uspekhi Khim., 37, 1685 (1968).
6. *F. Volkenstein* şi *V. Baru* Bull. Soc. chim. France., 3089 (1969).
7. *M. Constantinescu* şi *E. Segal* St. Cerc. chimie (sub tipar).

VIBRAȚIILE NORMALE ALE POLIMERILOR

ADRIAN OCTAV FULEA și *MINODORA LECA*, Universitatea București

1. Introducere

Teoria oscilațiilor moleculare este bazată pe legătura dintre mecanica clasică și mecanica cuantică. Cu toate că macromolecula este un microsistem, mișcările sale de vibrație pot fi studiate mult mai comod, cel puțin în unele privințe, cu ajutorul metodelor mecanicii clasice [1]. Aceasta din cauza faptului că mișcarea de vibrație este relativ lentă față de alte mișcări din moleculă. O simplificare esențială o aduce și faptul că mișcările nucleelor pot fi considerate, în primă aproximație, ca fiind oscilații armonice [2, 3]. Dezvoltarea rapidă a teoriei și practicii spectroscopiei în infraroșu, metodă fizică principală de studiu a vibrațiilor moleculare, a început de circa 30 ani. Studiile asupra polimerilor au fost printre primele aplicații ale acestei metode [4]. În prezent spectroscopia în infraroșu este probabil metoda fizică cea mai folosită pentru studiul structurii polimerilor [5].

În cele ce urmează ne vom ocupa de principala problemă teoretică a spectroscopiei în infraroșu a polimerilor, aceea a vibrațiilor normale, problemă abordată mult în ultimii ani. Pentru exemplificare se poate vedea materialul conferinței asupra spectroscopiei în infraroșu a polimerilor, conținut în Journal of Polymer Science, Part. C, 7, (1964), editat de către *G. Natta* și *G. Zerbi*.

Studiul teoretic al vibrațiilor macromoleculelor este o problemă complicată din cauza numărului mare de grade de libertate. Aparatul matematic care introduce simplificări, eleganță și rigurozitate în acest studiu este cel al reprezentărilor liniare de grupuri [6].

Printre cei ce au adus contribuții importante în această problemă trebuie să amintim pe : *Krimm*, *Liang*, *Simanouchi*, *Born*, *Higgs*, *Halford* și *Winston*.

2. Spațiul configurațional de vibrație al macromoleculei

Fie n numărul gradelor de libertate pentru mișcarea de vibrație intermoleculară, q_i ($i = 1, 2, \ldots, n$) coordonatele generalizate ale sistemului, care în cazul de față este macromolecula, și $V(q_i)$ și T energia potențială și respectiv cinetică de vibrație a macromoleculei. Se arată [1] că, presupunînd sistemul supus la legături scleronome și scriind ecuațiile de mișcare ale lui Lagrange, se ajunge la următoarele ecuații de mișcare :

$$\eta_j = Ca_j\, e^{-i\omega t} \tag{1}$$

unde ω este una din soluțiile ecuației :

$$|V_{ij} - \omega^2 T_{ij}| = 0. \tag{2}$$

Se mai arată că [1] există o transformare ortogonală $\mathbf{U}$ ce transformă mișcarea complicată de vibrație moleculară în una mai simplă, în care fiecare vibrație ω este riguros periodică :

$$\lambda = \mathbf{U}Q \tag{3}$$

Q fiind noile coordonate, numite coordonate normale.

Expresia energiei de vibraţie în noile coordonate este :

$$E = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n} Q_k^2 + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n} \lambda_k Q_k^2 \qquad (4)$$

unde $\lambda = \omega^2$.

Semnificaţia fizică a vibraţiei normale este [7] următoarea : dacă se îngheaţă toate gradele de libertate cu excepţia unuia, atunci coordonata respectivă η_i, efectuează o vibraţie normală.

Unul din autori a arătat riguros [8] că dacă se efectuează o operaţie de simetrie din grupul de simetrie molecular, este necesar şi suficient ca toate coordonatele Q_k, ce corespund aceleiaşi valori λ_k, să formeze o reprezentare ireductibilă, pentru ca energia să fie invariantă la această transformare. Prin urmare în studiul vibraţiilor macromoleculare sînt importante valorile caracterelor grupului de simetrie la care aparţine macromolecula ; pentru un studiu al lor se pot vedea lucrările [9, 2, 6].

Numărul vibraţiilor normale ale unei specii de simetrie pentru o macromoleculă este dat de următoarea ecuaţie : [10]

$$n_\alpha = \frac{1}{N_1 N_2 N_3 H} \sum_{\mathbf{R}\in \text{grup spaţial}} \chi(\mathbf{R})\,\chi_\alpha(\mathbf{R}) \qquad (5)$$

unde $N_1N_2N_3$ reprezintă numărul celulelor elementare ale cristalului finit, H este ordinul grupului factor al grupului spaţial, iar **R** o operaţie de simetrie. Pentru a se ajunge la formula folosită de obicei în studiul vibraţiilor macromoleculare [6], unul dintre autori a dat o cale riguroasă [11] :

$$n_\alpha = \frac{1}{H} \sum_{\text{c.d.r.}\mathbf{F}_i} \chi(\mathbf{F}_i)\ \text{u (c.d.r.)}\ (2\cos\varphi \pm 1) \qquad (6)$$

unde sumarea se efectuează după clasele de resturi ale grupului de simetrie respectiv. Este important faptul că n_α nu depinde de numărul de celule elementare considerat.

În continuare se dau notaţiile standard pentru vibraţiile normale, clasificate după simetria lor faţă de diferitele operaţii de simetrie şi după gradul de degenerare. Astfel reprezentările ireductibile corespunzătoare acestor vibraţii se notează cu literele A sau B ,dacă acestea sînt unidimensionale, cu E dacă sînt bidimensionale şi cu F dacă sînt tridimensionale. Cu A se notează reprezentările unidimensionale a căror bază (un vector) e simetrică la rotaţiile în jurul axului principal, reprezentarea B are o bază antisimetrică la aceleaşi rotaţii. Indicii 1 şi 2 ataşaţi unei reprezentări ireductibile notează simetria, respectiv antisimetria funcţiilor de bază în raport cu reflexia σ_h, iar indicii g şi u notează aceleaşi comportări în raport cu inversia.

Ca exemplu se poate da polimetilenoxidul planar [6]. Structura ipotetică planară a polimerului este dată în figura 1. Acest exemplu se discută în detaliu pentru a ilustra metoda descrisă. Se consideră un lanţ finit de trei unităţi ($N = 3$), ca în figura 1, care îndeplineşte condiţiile Born. Grupul translaţiilor pure constă din trei elemente : $\mathbf{T}_1$, $\mathbf{T}_2$ şi $\mathbf{T}_3$. Ultima translaţie translează cu trei unităţi lanţul şi prin urmare este echivalentă cu operaţia **E** din grupul translaţiilor. În figura 1 elementele de simetrie se notează astfel : C'_2 (1) reprezintă o axă de ordinul doi, care trece prin atomul 1 al lanţului ; σ (1) este planul de simetrie care trece

prin atomul 1 şi este perpendicular pe planul hîrtiei, iar σ'' este planul de simetrie definit de lanţul în zig-zag. Grupul liniar constă în combinaţiile acestor elemente de simetrie cu T_1, T_2 şi T_3. Numărul acestor combinaţii este mai mare decît ordinul grupului liniar, prin urmare unele combinaţii sînt operaţii de acelaşi fel. Ordinul grupului liniar este 12, fiind produsul direct al mulţimii elementelor grupului C_{2v} cu grupul trans-

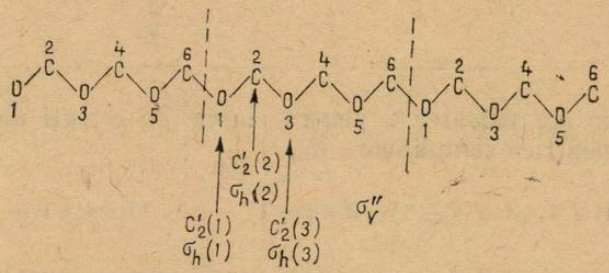


Figura 1. Operaţiile de simetrie ale polietilenoxidului planar.

laţiilor. Elementele grupului liniar pot fi scrise în mod avantajos pentru studiul vibraţiilor macromoleculare ca patru clase de resturi, după elementele grupului punctual C_{2v}, ca în tabela 1. Numerele din tabelă carac-

Tabela 1

Operaţiile de simetrie pentru clasele de resturi, după E şi σ_h ale grupului C_{2v}

Clasa de resturi după E			Clasa de resturi după σ_h		
T_1	T_2	T_3			
1...3	1...5	1...1	1...1	1...3	1...5
2...4	2...5	2...2	2...6	2...2	2...4
3...5	3...1	3...3	3...5	3...1	3...3
4...6	4...2	4...4	4...4	4...6	4...2
5...1	5...3	5...5	5...3	5...5	5...1
6...2	6...4	6...6	6...2	6...4	6...6

terizează poziţiile celor şase atomi din lanţ înainte şi după efectuarea operaţiei de simetrie. Tabela 1 poate fi extinsă uşor şi la clasele de resturi după C'_2 şi σ_v. Din tabela 1 se vede clar că fiecare element al clasei de resturi σ_h mai are încă cinci elemente echivalente. În continuare se determină numărul de vibraţii normale n_α, care corespunde la fiecare reprezentare a grupului factor. Tabela de grupă precum şi rezultatele calculului ce se face sînt date în tabela 3. Valorile numerice, pentru cazul polimetilenoxidului, ale funcţiilor (2 cos $\pm$ 1) şi u (c.d.r.) sînt date în tabela 2; ultima valoare este dată atît pentru întreaga macromoleculă cît şi pentru scheletul macromolecular. u (c.d.r.) reprezintă numărul de atomi care rămîn invarianţi într-o celulă elementară, dacă toate operaţiile dintr-o clasă de resturi (în număr de trei) sînt aplicate lanţului. Din tabela 1 se vede că

Tabela 2

Valorile funcțiilor u (c.d.r.) pentru schelet și pentru macromolecula întreagă

Clasa de resturi	2 cos	±1	u (c. d. r.)	
			schelet	macromolecula întreagă
E	0	3	2	4
C_2'	180	−1	2	2
h	0	1	2	2
v	0	1	2	2

această funcție are valoarea 2 pentru clasele de resturi ale lui E și σ_h. Să calculăm pentru exemplificare n_{A_1}.

$$n_{A_1} = \frac{1}{4}[(+1)\times 4\times 3 + (+1)\times 2\times(-1) + (+1)\times 4\times 1 + (+1)\times 2\times 1]$$

Valorile n_{A_2}, n_{B_1}, n_{B_2} sînt date în tabela 3 atît pentru lanțul de polimetilenoxid cît și pentru scheletul lanțului. Patru dintre vibrațiile normale calculate nu sînt vibrații adevărate : cele trei translații și o rotație în jurul axei z. Translația în direcția x aparține reprezentării A_1, deoarece această translație este total simetrică față de oricare dintre cele patru elemente de simetrie ale grupului factor. Rotațiile în jurul axei x și y sînt imposibile deoarece lucrăm cu un lanț infinit lung. Rotația în jurul axei z este simetrică față de operațiile de simetrie E și σ_h și antisimetrică față de operațiile C_2' și σ_v. Prin urmare această rotație aparține la reprezentarea B_2. Celelalte două translații (după axa y și z) au simetria determinată cu ajutorul formulei (6).

Tabela 3

Caracterele grupului liniar C_{2v} ; vibrațiile normale ale polimetilenoxidului planar

Reprezentarea	Operații de simetrie				Vibrații normale			
A_1	+1	+1	+1	+1	$1T_x$	—	2	y
A_2	+1	++1	−1	−1	—	—	—	1
B_1	+1	−1	+1	−1	$1T_y$	$1R_z$	2	4
B_2	+1	−1	−1	+1	$1T_z$	—	2	3

3. Studiul vibrațiilor proteinelor

În tratarea vibrațiilor proteinelor se fac următoarele ipoteze : se consideră o macromoleculă helicoidală infinită, construită prin legarea unor unități identice (resturi de peptide), astfel ca fiecare unitate să se transforme în alta printr-o operație de simetrie a grupului de simetrie la care aparține macromolecula H (l, φ) [12]. Avînd în vedere că macromolecula este helicoidală, rezultă că grupul de simetrie va conține cel puțin translații cu distanțe fixe l de-a lungul axei, înmulțite cu rotații de unghiuri φ, adică înșurubări. Este evident că două distanțe se găsesc una față de alta în raportul a două numere întregi. Același lucru se poate spune pentru două unghiuri φ diferite. Șirul tuturor operațiilor $\{H^n\}_n$ (n fiind orice întreg pozitiv sau negativ) care transformă unitățile una în

alta, constituie grupul de ordin infinit H (l, φ). Acest grup este izomorf cu grupul ciclic infinit C_∞. Reprezentările sale ireductibile sînt prin urmare toate unidimensionale şi pot fi notate cu $\Gamma(\theta)$, θ fiind un parametru ce parcurge toate valorile din intervalul $[-\pi, \pi]$. Caracterele corespunzătoare sînt:

$$\chi(\theta, H^r) = e^{in\theta} \tag{7}$$

Fiecare mod de vibraţie normală al helixului trebuie să aparţină la una din aceste reprezentări, aşa că dacă într-un mod normal o anumită unitate vibrează într-un anumit mod cu o amplitudine A, atunci în cea de a n-a unitate de la cea considerată mai sus, modul de vibraţie normal respectiv va avea o amplitudine egală cu $A \exp(-in\theta)$. Fiecare frecvenţă ν_i a unei unităţi izolate dă naştere într-o moleculă helicoidală la o bandă de frecvenţă $\nu_i(\theta)$, unde θ este diferenţa de fază între mişcările a două unităţi adiacente. Este uşor de arătat că la fiecare frecvenţă $\nu_i(\theta)$, corespunde o frecvenţă $\nu_i(-\theta)$, care este complexa sa conjugată şi deci egală cu ea, frecvenţele fiind cantităţi reale.

Să notăm cu y coordonatele interne (matrice unicolonară). Acestea vor fi aranjate astfel încît să se poată caracteriza cu ajutorul a doi parametri: r, care numerotează unităţile lanţului (poate avea orice valoare întreagă pentru un lanţ ipotetic infinit) şi α, care numerotează coordonatele dintr-o unitate a lanţului ($\alpha = 1, 2, \ldots, N$), N fiind numărul de coordonate interne dintr-o unitate a lanţului. Fie H grupul de simetrie la care aparţine heliul. Coordonatele fiind alese la fel în fiecare unitate, rezultă că membrii setului $\{y_{r\alpha}\}$ (r variabil, α fix) se transformă unul în altul sub acţiunea grupului H. Ecuaţia seculară pentru vibraţiile macromoleculei helicoidale se poate scrie folosind metoda matricii FG a lui Wilson [13]. Fie V şi T energia potenţială şi respectiv cinetică a mişcării interne:

$$v = 1/2\, y^t F y \tag{8}$$

$$T = 1/2\, \dot{y}^t G^{-1} \dot{y}. \tag{9}$$

Ecuaţia seculară se rezolvă pentru frecvenţa $\nu_i(\theta)$:

$$|GF - \lambda E| = 0 \tag{10}$$

unde E este matricea unitate, iar $\lambda = 4\pi^2\nu^2$. Deoarece V şi T sînt invariante la operaţiile grupului de simetrie H, urmează că elementele de matrice $F_{r\alpha,\, s\beta}$ şi $G_{r\alpha,\, s\beta}$ sînt dependente de r şi s numai prin diferenţa lor, adică se poate scrie:

$$F_{r\alpha,\, s\beta} = F^{(m)}_{\alpha\beta}; \qquad G_{r\alpha,\, s\beta} = G^{(s)}_{\alpha\beta}$$

unde $m = s - r$. $F^{(m)}_{\alpha\beta}$ reprezintă interacţia între coordonata α dintr-o unitate a lanţului şi coordonata β din unitatea a m-a de la prima unitate în discuţie, iar $G^{(m)}_{\alpha\beta}$ reprezintă cuplarea cinetică corespunzătoare. Trecerea de la coordonatele interne la coordonatele de simetrie normate duce la:

$$S_\alpha(\theta) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} \sum_{r=-\infty}^{+\infty} y_{\alpha r}\, e^{ir\theta} \tag{11}$$

$$y_{r\alpha} = \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} \int_{-\infty}^{+\infty} S_\alpha(\theta)\, e^{-ir\theta}\, d\theta \tag{12}$$

În coordonatele de simetrie matricile **F** și **G** vor fi parțial diagonalizate. Dacă se exprimă energia cinetică și potențială în aceste coordonate, ele vor avea formele :

$$V = 1/2 \int_{-\pi}^{\pi} \bar{\mathbf{S}}(\theta)\, \mathbf{F}(\theta)\, \mathbf{S}(\theta)\, d\theta \tag{13}$$

$$T = 1/2 \int_{-\pi}^{\pi} \bar{\mathbf{S}}(\theta)\, \mathbf{G}^{-1}(\theta)\, \mathbf{S}(\theta)\, d\theta \tag{14}$$

unde $\bar{\mathbf{S}}$ este matricea adjunctă a matricii unicolonare **S**, iar :

$$F_{\alpha\beta}(\theta) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} F_{\alpha\beta}^{(m)}\, e^{-im\theta} \tag{15}$$

$$G_{\alpha\beta}(\theta) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} G_{\alpha\beta}^{(m)}\, e^{-im\theta} \tag{16}$$

Prin urmare transformarea (11) reduce ecuația seculară (10), care este de ordin infinit, la un set de ecuații de ordin N :

$$|\mathbf{G}(\theta)\, \mathbf{F}(\theta) - \lambda(\theta)\mathbf{E}| = 0 \tag{17}$$

unde matricile $\mathbf{F}(\theta)$ și $\mathbf{G}(\theta)$ sînt definite prin ecuațiile (15) și (16).

Se pune problema calculării fundamentalelor active în infraroșu și Raman cu ajutorul ecuației (17) cunoscînd geometria moleculei și constantele de forță. De obicei geometria moleculară se cunoaște din măsurători fizico-chimice. Cunoașterea constantelor de forță este mai dificilă ; în general acesta este scopul principal al studiilor în infraroșu și Raman și nu punctul de plecare. Dacă nu se cunosc frecvențele fundamentale, deci dacă nu s-a făcut un spectru al proteinei, și în schimb se cunosc constantele de forță ale merilor, acestea se pot folosi în ecuația seculară. Trebuie însă remarcat că un calcul asemănător ar fi de interes și cînd ar exista spectrul, fără însă ca benzile să fie atribuite modurilor normale de vibrație, pentru a se putea face atribuirile mai ușor și cu un grad de siguranță mai mare.

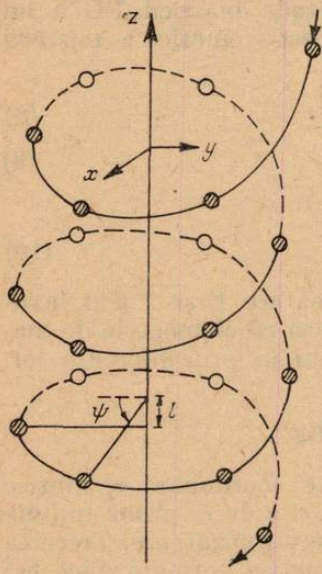


Figura 2. Helixul unei proteine și axele de coordonate atașate.

Să considerăm sistemul de coordonate din figura 2. Frevențele fundamentale aparțin reprezentărilor $\Gamma(\theta)$ care sînt conținute în reprezentarea ce are drept bază componentele momentului electric total $\vec{\mu}$. Acest vector se transformă la o operație de simetrie H^n astfel :

$$H^n \vec{\mu} = \begin{pmatrix} \cos n\varphi & -\sin n\varphi & 0 \\ \sin n\varphi & \cos n\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \vec{\mu} \tag{18}$$

Pentru discuţia care urmează este convenabil să se introducă coordonatele complexe:

$$x_+ = (x + iy)/\sqrt{2}$$
$$x_- = (x - iy)/\sqrt{2} \tag{19}$$

Componentele lui $\vec{\mu}$ în noua bază vor fi: μ_+, μ_-, μ_0.

Transformarea lui $\vec{\mu}$ sub acţiunea lui H^n este:

$$H^n\mu + = e^{in\varphi}\mu -$$
$$H^n\mu + = e^{-in\varphi}\mu -$$
$$H^n\mu_0 = \mu_0 \tag{20}$$

Comparînd ecuaţiile (7) cu ecuaţiile (20) se vede că μ_+, μ_- şi μ_0 aparţin, respectiv, la reprezentările $\Gamma(+\varphi)$, $\Gamma(-\varphi)$ şi $\Gamma(0)$. Prin urmare pentru a determina fundamentalele active în infraroşu trebuie rezolvate numai trei ecuaţii din şirul de ecuaţii (17) şi anume cele corespunzătoare la $\theta = 0, \varphi, 2\varphi$. Pentru rezolvarea practică a ecuaţiei seculare se foloseşte metoda perturbaţională a lui Higgs [14].

Pentru tratarea vibraţiilor normale ale altor polimeri helicoidali se poate vedea lucrarea lui Miyazawa [15].

4. Calculul constantelor de forţă

Principial această problemă ar necesita cunoaşterea tuturor numerelor de undă, introducerea lor în ecuaţia seculară şi rezolvarea acesteia din urmă. Cum pentru moleculele mari numărul frecvenţelor este mult mai mic ca cel al constantelor de forţă, trebuie făcute unele aproximaţii, care neglijează interacţiile mai slabe din moleculă. Se folosesc astfel aproximaţia forţelor centrale, aproximaţia forţelor de valenţă, potenţialul mixt al lui Urey şi Bradley [16], iar atunci cînd este posibil potenţialul general.

Spectrele micromoleculelor sînt mult mai uşor de atribuit. În plus regulile de selecţie pentru o structură regulată infinită permite un număr mic de frecvenţe active. Cele două constatări duc la concluzia că pentru un polimer este foarte dificil, dacă nu chiar imposibil, de evaluat un cîmp de forţe, din spectrul polimerului însuşi. Din această cauză se calculează constantele de forţă pentru micromolecule înrudite cu un polimer oarecare, de exemplu propan în cazul polietilenei, apoi se transferă constantele de forţă astfel calculate la macromolecule. Schachtschneider şi Snyder [17] au evaluat astfel un cîmp de forţe aproximativ pentru parafinele normale perfect întinse şi au făcut apoi o atribuire a spectrului polietilenei, în acord cu atribuirea spectrelor parafinelor mai mici, folosind o metodă perturbaţională a celor mai mici patrate dată de King, Simanouchi şi colab. [18,19,20].

BIBLIOGRAFIE

1. *Gabos, Z., Mangeron, D* şi *Stan, I.* In: „Fundamentele mecanicii", Edit. Acad. R.P.R., 1962, p. 262 ş.u.
2. *Wilson, E. B., Cross, J.* şi *Decius, P. C.* In: „Molecular Vibrations", Mc. Graw-Hill Book Company, New York, 1955, p. 17, 34, 193.

3. *Herzberg, G.* In : „Infrared and Raman Spectra of Polyatomic Molecules", Van Nostrand, Princeton, New Jersey, 1945, p. 15.
4. *Thomron, H. W.* şi *Torkington, P.* In : Trans. Faraday Soc., *41*, 1945, p. 246.
5. *Kossler, I.* In : „Encyclopedia of Polymer Science and Technology", *7*, 1966, p. 620.
6. *Zbinden, T.* In : „Infrared Spectroscopy of High Polymers", Academic Press, New York, 1964, p.
7. *Mayer, M.* In : „Operatori liniari în spaţii unitare", Edit. Tehnică, Bucureşti, 1956, p.
8. *Fulea, A. O.* In : Lucrare de diplomă, 1964, Facultatea de Chimie.
9. *Rosenthal, J. E.* şi *Murphy, G. M.* In : Rev. Mod. Phys., *8*, 1936, p. 317.
10. *Halford, R. S.* In : J. Chem. Phys., *14*, 1946, p. 8.
11. *Fulea, A. O.* In : Lucrare de diplomă, 1970, Facultatea de Fizică.
12. *Higgs, P. W.* In : Proc. Roy. Soc., London, *A 220*, 1953, p. 472.
13. *Wilson, E. B.* In : J. Chem. Phys., *7*, 1939, p. 1047; *9*, 1941, p. 76.
14. *Higgs, P. W.* In : J. Chem. Phys., *21*, 1953, p. 1131.
15. *Miyazawa, T.* In : J. Polymer Sci. Part. C, *7*, 1964, p. 59.
16. *Urey, H. C.* şi *Bradley, C. A.* In : Phys. Rew., *38*, 1931, p. 1963.
17. *Schachtschneider, J. H.* şi *Snyder, R. G.* In : J. Polymer Sci. Part. C, *7*, 1964, p. 99.
18. *King, V. T., Mills, I. M.* şi *Crawford, B. L.* In : J. Chem. Phys. *27*, 1957, p. 455.
19. *Simanouchi, T.* şi *Suzuki, I.* In : J. Mol. Spectroscop., *6*, 1951, p. 227.
20. *Mann, D. E., Simanouchi, T., Meal, J. H.* şi *Fano, L.* In : J. Chem. Phys., *27*, 1957, p. 43.

ACŢIUNEA ULTRASUNETELOR ASUPRA UNOR DEPUNERI GALVANICE

Lect. univ. *I. GAVRILĂ, I. COJOCARU, C. CÎNDEA*, Braşov

Efectele ultrasunetului asupra soluţiilor de electroliţi au constituit obiectul unor cercetări numeroase. În unele lucrări [1—4] se prezintă constatări privind modificarea conductivităţii electrice a soluţiilor de electroliţi sub acţiunea ultrasunetului, alte lucrări tratează probleme ale modificării permitivităţii electrice a soluţiilor de electroliţi [5]. Numeroase lucrări tratează de asemenea aspecte ale influenţei ultrasunetului asupra proceselor galvanice [6—11].

Una din problemele importante o constituie de asemenea influenţa ultrasunetului asupra depunerilor electrolitice. Efectul de depolarizare pe care-l produce ultrasunetul asupra celulelor electrolitice, ceea ce permite micşorarea stratului de difuziune sau chiar distrugerea lui, duce la accelerarea procesului de depunere a metalului pe catod.

În condiţii normale (în absenţa cîmpului ultrasonic), densitatea de curent necesară depunerilor dintr-o baie electrolitică nu poate depăşi o anumită limită, pentru care viteza de depunere devine constantă (fig. 1, linia 1). Sub acţiunea cîmpului ultrasonic, datorită efectului de depolarizare, pe de o parte şi datorită creşterii conductibilităţii electrice a soluţiei, pe de altă parte, această limită a densităţii de curent este depăşită de multe ori (fig. 1, linia 2), ceea ce permite creşterea vitezei de depunere. În funcţie de condiţiile de ultrasonare, viteza de depunere se măreşte. De exemplu viteza de depunere a cuprului şi cadmiului (din electroliţi de cianuri), creşte sub acţiunea ultrasunetului de 20—30 ori, viteza de depunere a argintului de 10—15 ori, a nichelului din soluţii de sulfaţi de 15 ori etc.

Acţiunea ultrasunetului are influenţă şi asupra calităţii depunerii electrolitice a metalului prin : micşorarea granulelor din stratul depus,

densitate omogenă, duritate mai mare, în funcţie de condiţiile de ultrasonare.

Sub acţiunea ultrasunetului se modifică pasivitatea anodică, mărindu-se viteza de dizolvare, ceea ce crează de asemenea accelerarea procesului de depunere. Astfel A.M. Lapides a constatat că anozii de cupru şi de zinc se dizolvă de 2—3 ori mai repede sub acţiunea ultrasunetului

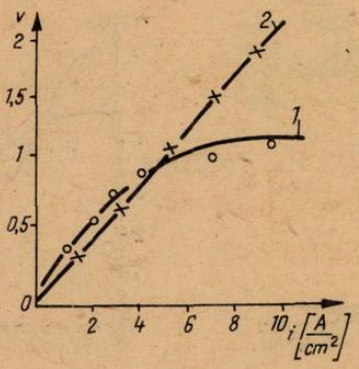


Fig. 1

de o anumită intensitate, decît în condiţii obişnuite, J. Guitton stabileşte experimental o delimitare de dizolvare şi pasivizare a anodului în cîmpul ultrasonic. Accelerarea dizolvării anodice depinde de natura metalului, de compoziţia electrodului, de regimul de electroliză pe de o parte, iar pe de alta depinde de intensitatea şi direcţionarea fasciculului ultrasonic.

Pe lîngă acţiunea distructivă (dizolvantă) ultrasunetele au asupra anozilor şi o acţiune oxidantă, care duce la creşterea pasivizării anodului. Acest efect se datoreşte abundenţei oxigenului care se degajă la anod, ducînd la formarea peliculei de oxizi, ceea ce împiedică dizolvarea anodică.

Cele două efecte de distrugere şi de pasivizare a anodului depind de condiţiile care favorizează un efect sau celălalt.

Un aspect interesant apare şi în cazul cînd se studiază procesul de depunere electrolitică după încetarea acţiunii ultrasunetului. În acest caz

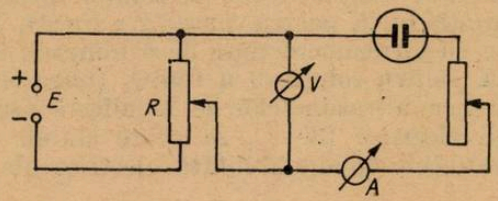


Fig. 2

se constată o descreştere a vitezei de depunere, cu creşterea timpului de la încetarea ultrasonării.

În cercetările noastre am studiat electroliza cuprului la soluţii de $CuSO_4$ de concentraţii 0,1 n, 1 n, 2 n şi saturat, în celule cu anod de cupru. Ultrasonarea s-a realizat la tensiunea de placă de 1000 V, frecven-

ţa 1 MHz, la timpii de 6 şi 10 minute. Electroliza s-a realizat prin circuitul din fig. 2, în condiţii obişnuite. Pentru soluţiile de 1 n, 2 n şi soluţia de sulfat de cupru saturată s-a obţinut în cazul electrolizei acelaşi echivalent electrochimic $K = 0{,}33 \cdot 10^{-10}$ kg/C. Condiţiile de electroliză au fost obişnuite : temperatura 22°C, tensiunea folosită de 15 V, intensitatea medie a curentului electric —0,5 A.

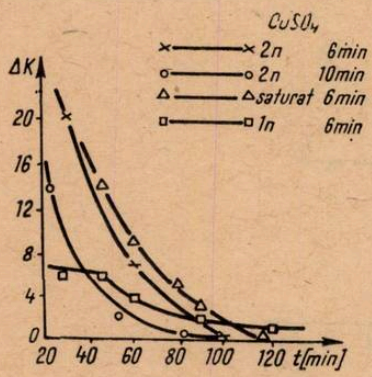


Fig. 3

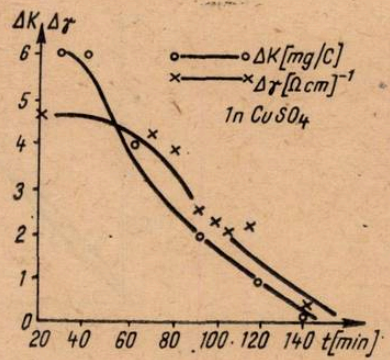


Fig. 4

Pentru soluţiile supuse acţiunii ultrasunetului s-au obţinut valori mai mari ale echivalentului electrochimic al cuprului. În fig. 3 este reprezentată variaţia relativă a echivalentului electrochimic al cuprului în funcţie de timpul scurs de la încetarea ultrasonării.

Dacă notăm cu ΔK variaţia echivalentului electrochimic :

$$\Delta K = K_i - K_0$$

K_i reprezintă echivalentul electrochimic corespunzător soluţiei ultrasonate şi K_0 — echivalentul corespunzător soluţiei de referinţă, se constată că imediat după încetarea acţiunii ultrasunetului asupra soluţiei respective, avem o variaţie maximă, care descreşte treptat cu creşterea timpului de la încetarea acţiunii ultrasunetului, spre zero. Această creştere depinde de concentraţia soluţiei şi anume este mai mare la concentraţii mai mari. În fig. 3 se reprezintă grafic variaţia echivalentului electrochimic al cuprului în funcţie de timpul scurs de la încetarea ultrasonării (linia 1 reprezintă variaţia echivalentului la soluţia saturată de sulfat de cupru, linia 2 — variaţia lui K pentru soluţia 2 n $CuSO_4$, linia 4 — pentru 1 n $CuSO_4$ (iradiate cu ultrasunete timp de 6 minute), iar linia 3 reprezintă variaţia lui K pentru soluţia 2 n $CuSO_4$ (ultrasonată 10 minute).

Deoarece acţiunea ultrasunetelor se manifestă asemănător şi asupra conductibilităţii electrice [3—4], se poate stabili o legătură între aceste variaţii şi variaţiile conductibilităţii electrice ale soluţiilor ultrasonate.

Se constată că variaţia conductibilităţii electrice a soluţiilor de $CuSO_4$ se realizează într-un mod asemănător; variaţiile mai mari sînt corespunzătoare soluţiilor cu concentraţii mai mari.

Măsurîndu-se conductibilitatea electrică a soluţiilor de $CuSO_4$ utilizate, s-a constatat că există o asemănare între variaţiile acesteia (în raport cu conductibilitatea soluţiei neultrasonate) şi variaţiile echivalentului electrochimic.

În fig. 4 sînt prezentate variațiile conductibilității (γ) și ale echivalentului electrochimic ($\Delta K = K - K_0$), corespunzătoare soluției de 1 n $CuSO_4$, supusă acțiunii unui cîmp ultrasonic cu frecvența de 1 MHz timp de 6 minute, iar în fig. 5 aceleași variații corespunzătoare soluției de 2 n $CuSO_4$, ultrasonată în aceleași condiții. Aceasta atestă că princi-

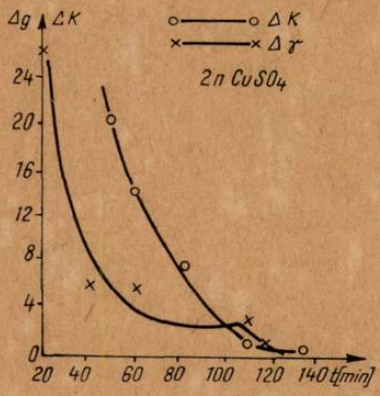


Fig. 5

palele cauze ale creșterii depunerilor galvanice se datoresc acelorași efecte produse de ultrasunet :

— apariția unor noi ioni în soluție datorită efectului cavitațional ;
— creșterea mobilității ionilor.

Dacă ținem cont de legea lui Faraday pentru electroliză :

$$m = K \int_0^t I\,(t)\,\mathrm{d}t \tag{1}$$

pe care o putem exprima și în funcție de conductibilitatea electrică a soluției (γ) :

$$m = \frac{Ks}{l}\, u \int_0^t \gamma\,(t)\,\mathrm{d}t \tag{2}$$

sau :

$$m = K_1 \int_0^t \gamma\,(t)\,\mathrm{d}t$$

și de rezultatele experimentale prezentate în fig. 2 —4, putem afirma că atît conductivitatea soluției de $CuSO_4$ supusă acțiunii ultrasunetului cît și echivalentul electrochimic variază cu timpul de ultrasonare [$\gamma = \gamma(\tau)$ $K = K\,(\tau)$].

K este echivalentul electrochimic al cuprului, s — secțiunea electrodului, l — distanța dintre electrozi, u — diferența de potențial dintre aceștia, τ — timpul de ultrasonare.

Ținînd cont de variația conductivității în funcție de timpul de ultrasonare, pentru un anumit interval de timp scurs de la încetarea ultrasonării, relația (2) se mai poate scrie :

$$m = K_2 \int_0^t (e^{-\alpha\tau} + 1)\,\mathrm{d}t \tag{3}$$

unde $K_2 = K_1$.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

Concluzii

În urma cercetărilor efectuate privind influența ultrasunetelor asupra fenomenului de electroliză se constată următoarele :

— Variația echivalentului electrochimic (diferența dintre $K_{\text{irad.}}$ — K_{neirad}) descrește exponențial cu timpul scurs de la încetarea ultrasonării.

— Conductibilitatea electrică a soluției tinde spre aceleași valori ca și echivalentul electrochimic.

— Variația echivalentului electrochimic depinde de concentrația soluției.

BIBLIOGRAFIE

1. *Bergmann L.* Ultrazvuh i ego primenenie v nauke i tehnike Izd. in. lit. Moskva, 1956
2. *Fox E.F., Hertzfeld K.F., Rock G.D.* Phys. Review (2) 70, 5—6, 1946
3. *Ausländer D., Constantin E., Szocs I.* St. cerc. șt. fiz. (6) 1963, 3, 747
4. *Gavrilă I., Ionașcu N.*, Lucr. șt. Inst. pol. Brașov, II, 1965, 297
5. *Ausländer D., Constantin E., Ciuppe A.* Acustica, XVII, nr. 4, 1966, 204
6. *Ghinberg M.A.* Ultrazvuk o himiceskih i electrohimiceskih proțesah mașinostroenia, Maș. ghiz. Moskva, 1962
7. *Guilton J.* Journ. des Recherches C.N.R.S. nr. 48 (sept.) 1959, 199
8. *Roll A.Z.* Metalkunde, 41, nr. 10, 1950, 339
9. *Herforth, Winter* Ultraschall, 1958, Leipzig
10. *Matauschek J.* Einfɤhrung in die Ultraschalltehnik, VEB Tehnik Berlin, 1957.
11. *Bras A.* Rev. chim. min. Fr. 4, nr. 1, 1967, 283

Către cititorii R.F.C. seria A

Numerele 4 și 5 ale RFC seria A, vor fi realizate de către Institutul de Fizică atomică din București, cuprinzînd articole asupra Rezonanței paramagnetice electronice. Autori: prof. Dr. Doc. Ion Ursu președintele C.S.E.N, cercet. principal E. Burzo, cercetător D. Demco, fizician Flaviu Domșa, cercetător R. Baican, Dr. Barb Dănilă director adj. șt. I.F.A.

I.P.I. c, 3146

Index 43459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL IX

3

MARTIE 1972
RFCABV 9 (3) 81–120 (1972)

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI – 46 TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag

Prof. *Hirsch — Lanczos Peter*, Arad

1. Holografia optică 81

Referate susținute la consfătuirea de la Tr. Severin „Problematizarea în predarea Fizicii și Chimiei" *20 — 21 XI 1971*

Conf. I. C. Petrea, București

2. Optimizarea predării problematizate a fizicii 86

Lector *Viorica Lupu*, Lector *Paul Stoleru-Constantinescu*, București

3. Modalități de realizare a problematizării în învățarea chimiei 88

Prof. *Elena Teodoru* și lector *Lidia Panaiotu*, București

4. Perfecționarea tehnologiei învățării 94

Prof. *Rodica Nicolaiciuc*, București

5. Încercări de problematizare a unor lecții recapitulative. 101

Prof. *Zoltan Vereș*, Marghita

6. Unele modalități de problematizare aplicabile în rezolvarea problemelor de fizică 105

Lecții moderne de fizică și chimie

Prof. *Leontina Petrescu*, Turnu Măgurele

7. Legea dezintegrării radioactive 111

Lucrări de laborator

Prof. *dr. Sima Petre*, ing. *Costin Grigore*, ing. *C. Comărăscu*, Brașov

8. Aparat pentru studiul compunerii oscilațiilor armonice 115

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, conf. univ.; **Teodor Bohățiel**, lector. univ.; **Simion Bulgărea** prof.; **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicole Martalogu**, conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof. **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România) **Elena Teodoru**, prof.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Volumul IX, nr. 3 Martie 1972

HOLOGRAFIA OPTICĂ

Prof. *HIRSCH-LANCZOS PETER*

L. I. A. Arad

De cîţiva ani optica a cunoscut o dezvoltare prodigioasă, dezvoltare care a dus la rezolvarea multor probleme teoretice şi practice care păreau la un moment dat de domeniul fantasticului. Una din problemele care frămînta oamenii de ştiinţă era posibilitatea obţinerii unor imagini în spaţiu. Pentru aceasta trebuia găsită o nouă tehnică de înregistrare a undelor luminoase principial diferită de tehnica înregistrării clasice (fotografia). Se ştie că în cursul fotografierii clasice, placa fotografică înregistrează doar energia luminoasă a fasciculului care cade pe ea, înregistrîndu-se deci pătratul amplitudinii, faza pierzîndu-se. În principiu, noua metodă trebuia astfel concepută, încît placa fotografică să poată înregistra atît amplitudinea cît şi faza undelor electromagnetice provenite de la un obiect oarecare.

O astfel de înregistrare complexă însă nu putea fi realizată cu surse luminoase clasice, ci numai cu ajutorul unor surse coerente. Ideea introducerii unui fond luminos coerent a fost emisă încă din anul 1934 de către Zernicke inventatorul microscopului cu contrast de fază. Metoda a fost perfecţionată de către fizicianul englez Dennis Gabor în 1947, realizare pentru care i s-a decernat Premiul Nobel pe anul 1971. Principial metoda fusese deja pusă la punct, dar exista încă un impediment major datorită faptului că sursele de lumină coerentă nu erau încă îndeajuns puse la punct.

Odată cu perfecţionarea laserilor a fost înlăturat şi acest ultim obstacol în calea realizării imaginilor spaţiale. Ne vom ocupa în cele ce urmează de problema coerenţei spaţiale şi temporale a unui fascicul luminos. Sursele luminoase convenţionale ca de exemplu soarele, becul ş. a. m. d. emit unde luminoase necoerente. Cu alte cuvinte fiecare atom emite un tren de unde foarte scurt. Pe de altă parte la un moment imediat ulterior el emite alt tren de unde a cărui fază nu prezintă nici o corelaţie cu faza trenului anterior. În aceste condiţii la placa fotografică ajung unde luminoase (difuzate de obiectul care dorim să-l înregistrăm) cu o distribuţie luminoasă perfect aleatoare atît în timp cît şi în spaţiu. Cu alte cuvinte, undele luminoase emise de sursele convenţionale nu prezintă proprietăţi de coerenţă spaţială şi temporală.

O caracteristică proprie laserilor este faptul că emit un fascicul de raze paralele foarte coerent. Toate punctele unei secţiuni principale a fasciculului, vibrează în fază, trenurile de undă emise fiind lungi satisfăcîndu-se astfel, în primul caz coerenţa spaţială, iar în ultimul cea temporală, al doilea tip de coerenţă asigurînd un înalt grad de monocromaticitate al razelor componente ale fasciculului. Obiectul iluminat de un laser difractă undele incidente, care ajungînd la placa fotografică realizează

o distribuţie luminoasă complexă, bine definită în fiecare punct prin amplitudinea şi faza sa. Pentru conservarea fazei se foloseşte pe lîngă fasciculul difractat, şi un fascicul de referinţă.

Pentru realizarea acestui obiectiv, fasciculul iniţial provenit de la laser se divizează în două fascicule : unul iluminînd obiectul de la care vor porni spre placă raze difractate, iar celălalt iluminînd direct placa fotografică (fiind fasciculul de referinţă). Cele două fascicule vor interfera, constituind o figură complicată de interferenţă, înregistrată de placa fotografică, care în acest caz reprezintă holograma. Franjele de interferenţă obţinute conţin toate informaţiile legate de amplitudinile şi fazele undei difractate. Fig. 1 redă una din metodele realizării unei holograme folosite în cazul obiectelor transparente. Holograma este o placă de culoare cenuşie care nu prezintă nici o particularitate la prima vedere. La microscop însă se poate observa o figură complicată de interferenţă. Pentru a reconstitui obiectul înregistrat este suficient să iluminăm holograma cu o undă analoagă undei de referinţă folosită la înregistrare. Fenomenul se explică datorită faptului că prin trecerea fasciculului de referinţă prin figura de interferenţă are loc o demodulare care restituie de partea cealaltă a plăcii unda difractată provenită de la obiect.

Vom enumera în cele ce urmează unele proprietăţi remarcabile ale hologramelor şi anume :

a) Imaginea reconstruită pare a fi identică cu obiectul tridimensional real, posedînd proprietăţile de profunzime a cîmpului şi paralaxă. Într-adevăr ochiul va trebui să se acomodeze pe diferitele planuri în profunzime pentru a le înregistra clar, iar observatorul care se deplasează înaintea hologramei va percepe o schimbare a perspectivei.

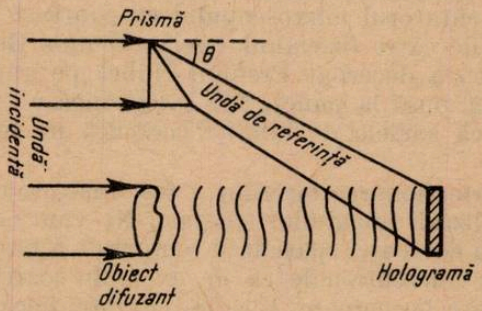


Fig.1

b) Dacă o hologramă este spartă, un fragment oarecare al ei ne permite să reconstituim întregul obiect. Este suficient ca fragmentul să aibă dimensiunea pupilei ochiului (cîţiva milimetri) pentru ca să putem obţine aceeaşi imagine ca şi cu holograma întreagă. Această proprietate se explică datorită faptului că fiecare punct al hologramei primeşte la înregistrare informaţii de la întregul obiect.

c) Negativul unei holograme reproduce aceeaşi imagine a obiectului ca şi pozitivul hologramei. Acest lucru se explică datorită faptului că o copie pozitivă a reţelei se obţine dintr-una negativă prin transformarea regiunilor opace în regiuni transparente şi invers, transformare care nu modifică însă contrastul relativ al franjelor de interferenţă. Variaţiile modulaţiei rămîn constante, schimbîndu-se doar semnul lor, schimbare care provoacă la rîndul ei inversarea semnului amplitudinilor undelor di-

fractate. Se știe însă că ochiul nu este sensibil la semnul amplitudinii luminoase (el înregistrînd doar pătratul amplitudinii) și deci vom obține aceeași imagine reconstruită ca și în cazul hologramei pozitive.

d) În confecționarea hologramelor contrastul emulsiei folosite nu are nici o influență practică asupra imaginii obținute el influențînd doar luminozitatea ei. Singura calitate cerută plăcilor folosite este o rezoluție ridicată, proprietate care influențează înregistrarea modulației.

Fundamentare teoretică

Vom lua în considerație o undă difractată, a cărei amplitudine este o mărime complexă. Elementele esențiale ale unei asemenea unde sînt: modulul amplitudinii $A(x)$ și faza ei $\Phi(x)$. Procedeul de înscriere pe placa holografică trebuie să fie astfel conceput încît la reconstrucția undei difractate să obținem atît amplitudinea cît și faza ei neschimbate. În acest scop ne vom folosi de o undă de referință a cărei amplitudine să fie mult mai mare decît amplitudinea undei difractate.

Cele 2 unde vor avea următoarele ecuații:

$A_0 e^{-i\theta x}$ — unda de referință

cu condiția ca: $A_0 >> A(x)$

$A(x)\, e^{i\Phi(x)}$ — unda difractată

Amplitudinea sumă care va lovi placa holografică va fi:

$$A = A_0 e^{-i\theta x} + A(x)\, e^{i\Phi(x)} \tag{1}$$

Calculînd intensitatea vom obține:

$$I = AA^* = A_0^2 + A^2(x) + A_0 A(x) e^{i(\Phi + \theta x)} + A_0 A(x) e^{-i(\Phi + \theta x)} \tag{2}$$

În continuare calculînd factorul de transmisie vom obține:

$$\alpha \sim (I)^{-\Gamma/2} = [A_0^2 + A^2(x) + A_0 A(x) e^{i(\Phi + \theta x)} + A_0 A(x) e^{-i(\Phi + \theta x)}]^{-\Gamma/2} =$$

$$A_0^{-\Gamma}\left[1 + \frac{A^2(x)}{A_0^2} + \frac{A(x)}{A_0} e^{i(\Phi + \theta x)} + \frac{A(x)}{A_0} e^{-i(\Phi + \theta x)}\right]^{-\Gamma/2} \tag{3}$$

În expresia de mai sus Γ este factorul de contrast din curba de calibrare a hologramei, iar I intensitatea incidentă relativă.

Dezvoltînd relația (3) în serie vom obține:

$$\alpha \sim 2A_0^2 - \Gamma A^2(x) - \Gamma A_0 A(x) e^{i(\Phi + \theta x)} - \Gamma A_0 A(x) e^{-i(\Phi +)\theta x} \tag{4}$$

Ne-am oprit la termenul liniar în dezvoltarea în serie datorită faptului că $A_0 >> A(x)$.

După Gabor, fotografia descrisă prin relația de mai sus se numește hologramă.

În cazul în care dorim să reconstruim unda difractată vom ilumina holograma cu un fascicul coerent de intensitate I_0, intensitatea transmisă de placa holografică fiind I.

$$I(x) = \alpha(x)\, I_0 \sim 2A_0^2 I_0 - \Gamma\, I_0 A^2(x) - \Gamma\, I_0 A_0\, A(x)\, e^{i(\Phi + \theta x)} - \\ -\Gamma\, I_0\, A_0\, A\,(x)\, e^{-i(\Phi + \theta x)} \tag{5}$$

Analizînd ultima relație obținută, care este expresia imaginii reconstruite, observăm că primii 2 termeni nu depind de fază, deci vor da o pată luminoasă. Termenul al treilea va reprezenta unda reconstruită care a stat la baza obținerii hologramei, iar termenul al patrulea reprezintă o copie a undei refractate.

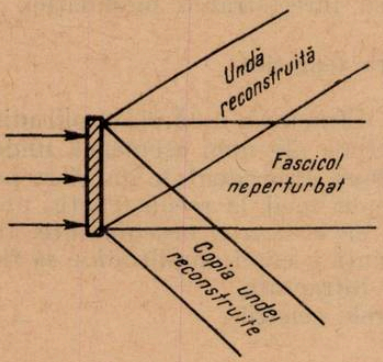


Fig. 2

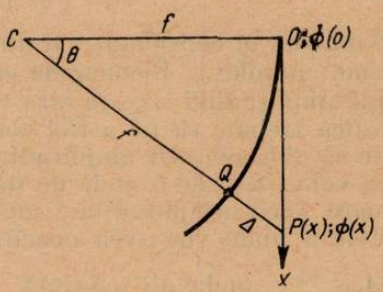


Fig. 3

Figura de mai sus se justifică în felul următor : se știe că în cazul studiului unui fascicul luminos care trece printr-o prismă optică o deplasare pozitivă a fazei înseamnă o refracție de un unghi oarecare θ în sus, iar o deplasare negativă, o refracție în jos.

În continuare ne vom ocupa de înregistrarea holografică a unei unde sferice. Pentru aceasta va trebui explicitată faza undei sferice luate în considerație.

Din figura (3) se observă că faza undei aflate în $P(x)$ va fi

$$\Phi(x) = \Phi(0) + \vec{K}.\vec{\Delta}$$

În triunghiul COP avem : $(f + \Delta)^2 = x^2 + f^2$

Efectuînd calculele și neglijînd termenul Δ^2 rezultă :

$$\Delta = \frac{x^2}{2f} \quad \text{deci } \vec{K}.\vec{\Delta} = i\frac{\pi x^2}{\lambda f}$$

Se observă din figură că faza punctului P(x) este în avans cu $\vec{K}.\vec{\Delta}$ față de Q (care este cofazal cu punctul O).

Pentru a studia procesul de înregistrare în cazul undelor sferice considerăm figura (4).

Orice punct al obiectului ilumineză întreaga hologramă. Într-un punct oarecare $P(x)$ al plăcii vom obține o amplitudine rezultantă $T(x)$ de următoarea formă :

$$T(x) = A_0 e^{-i\theta x} + \chi' \int S(\beta)\, e^{i\frac{2\pi}{\lambda}[z^2 + (\beta - x)^2]^{1/2}}\, d\beta$$

unde $A_0 e^{-i\theta x}$ este unda de referință, iar $S(\beta)$ este amplitudinea unei unde sferice elementare.

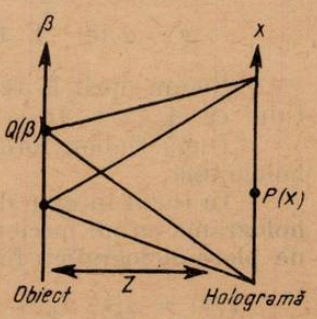


Fig. 4

Datorită faptului că $z >> x$ vom dezvolta în serie expresia de la exponent și împărțind cu A_0 întreaga relație vom obține:

$$T(x) \sim e^{-i\theta x} + \chi \int S(\beta)\, e^{i\frac{\pi}{z\lambda}(\beta - x)^2}\, d\beta \qquad (7)$$

Se observă că termenul al doilea al sumei reprezintă un produs de convoluție așa încît vom putea scrie:

$$T(x) \sim e^{-i\theta x} + S(x) \ast f(x) \qquad (8)$$

Intensitatea va fi deci: $I(x) \sim T.T^* = [e^{-i\theta x} + S(x) \ast f(x)] \times$

$$\times [e^{i\theta x} + S(x) \ast f(x)^*] = 1 + e^{-i\theta x}\,[S(x) \ast f(x)]^* +$$

$$+ e^{i\theta x}\,[S(x) \ast f(x)] + |S(x) \ast f(x)|^2 \qquad (9)$$

Din relația (9) putem obține expresia factorului de transmisie $\alpha(x)$, expresie care o simplificăm considerîn că $\Gamma = 2$ iar $i_0 = 1$. În acest caz intensitatea $i(x)$ a fasciculului reconstituit la iluminarea hologramei cu un fascicul de intensitate i_0 va fi:

$$i(x) = \alpha(x) \cdot i_0 \sim \alpha(x) = 1 - e^{-i\theta x}\,[S(x) \ast f(x)]^* + \ldots\ldots\ldots \qquad (10)$$

relație în care am neglijat restul termenilor.

Pentru a reobține unda înregistrată pe hologramă, undă care provine de la un obiect oarecare vom considera următoarea figură.

Se observă din figură că orice punct al hologramei contribuie la reconstituirea imaginii unui punct al obiectului. În relația care urmează vom ține cont de faptul că mediul dintre hologramă și ecran este un mediu dispersiv. Vom ține deci cont de un factor de dispersie, $e^{i\frac{2\pi}{\lambda}r}$. În acest caz amplitudinea rezultantă a imaginii reale prinse pe ecran va fi:

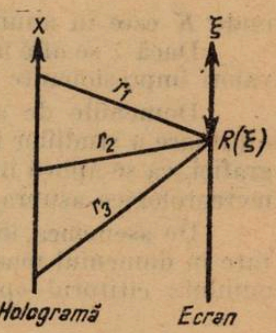


Fig. 5.

$$A(\xi) = \int \alpha(x) \cdot i_0 \cdot e^{i\frac{2\pi}{\lambda}r}\, dx \qquad (11)$$

Vom obține înlocuind pe $\alpha(x)$ cu valoareea lui din (10) o sumă de patru termeni ca și în cazul studiului reconstrucției imaginii în cazul undelor plane. Ne vom ocupa doar de termenul al doilea din sumă. (Primul și al patrulea termen dau fasciculul nedeviat, fapt arătat deja în cursul acestui articol).

$$\text{Deci } A_2(\xi) \sim \int e^{-i\theta x}[S(x) \ast f(x)]^* \cdot e^{i\frac{2\pi}{\lambda}(x-\zeta)^2}\, dx \qquad (12)$$

expresie obținută după ce în prealabil dezvoltasem în serie exponentul.

După cum se observă relația (12) introduce un nou produs de convoluție și deci vom putea scrie :

$$A_2(\xi) = e^{-i\theta\xi_0}\,[S(\xi) \ast f(\xi)]^* \ast f'(\xi] \tag{13}$$

Ținînd cont de unele proprietăți ale transformatelor Fourier (TF) vom scrie : $A_2(\xi) = TF[e^{-i\theta\xi_0}\ s^*(x)\ F(x)^*\ F'(x)] = S(\xi - \xi_0)$ (14)

unde $s(x)$ este T.F. a funcției $S(\xi)$, iar $F(x)$ este T.F. a funcției $f(\xi)$.

În plus

$$F(x)^*\ .\ F'(x) = \begin{cases} 1 \text{ dacă cele 2 funcții sînt identice} \\ 0 \text{ dacă cele 2 funcții sînt diferite.} \end{cases}$$

Se observă că $S(\xi - \xi_0)$ este identică cu amplitudinea undei sferice înregistrate $S(\beta)$, datorită faptului că variabila este arbitrar aleasă.

Teoretic s-a obținut deci reconstrucția undei sferice înregistrate holografic.

Cu ajutorul holografiei se pot obține măriri convenabile ale obiectului holografiat ținînd cont de faptul că întregul procedeu se poate compara cu formarea imaginilor într-o lentilă.

Practic se obține o mărire considerabilă dacă înregistrăm imaginea obiectului pe hologramă cu ajutorul unei radiații de lungime de undă λ, astfel încît $\lambda' >> \lambda$.

Formula măririi este dată de relația :

$$M = K\frac{\lambda'}{\lambda} \tag{15}$$

unde K este în anumite condiții un coeficient de proporționalitate.

Dacă λ se află în domeniul razelor X, iar λ' în vizibil, M poate atinge valori impresionante avînd ordinul de mărime de 10^5.

Domeniile de aplicabilitate ale holografiei sînt foarte diverse. Ca o urmare a studiilor intense atît teoretice cît și practice în domeniul holografiei, ea se aplică în interferometrie, studiul vibrațiilor mecanice, studii meteorologice asupra diferitelor fenomene de ceață ș. m. d.

De asemenea, în ultima vreme holografia și-a găsit o largă aplicabilitate în domeniul mașinilor de calcul și în realizarea unui mai vechi vis al omului : cititorul optic automat.

OPTIMIZAREA PREDĂRII PROBLEMATIZATE A FIZICII, PREMIZA FORMATIVĂ ÎN INVESTIGAREA ȘTIINȚIFICĂ

Conf. dr. *I. C. PETREA*
Universitatea București
Facultatea de Fizică

Actul logic al însușirii sistematice și aprofundate a cunoștințelor de profil constituie o componentă efectivă a complexului educațional modern, integrîndu-se acestuia atît prin reperele sale problematizate cît și prin

eforturile de stimulare a gîndirii şi a deschiderii unor perspective antrenante în activitatea creatoare de valori materiale şi spirituale.

În contextul activităţii didactico-pedagogice, cu structuri concomitent asociate ca suport dinamic al elementelor de informare şi formare a viitorului specialist, problematizarea ocupă un loc cu nebănuite implicaţii la nivelul eficienţei unei lecţii sau prelegeri. Eficienţa învăţării problematizate este ilustrată concludent de sporirea capacităţii de angajare autonomă şi abordare conştientă în stabilirea unor raporturi novatoare, proprii activităţii investigative soldate cu rezultate remarcabile.

Evident că exigenţele în preconizarea şi estimarea rezultatelor susceptibile de a deveni remarcabile în urma unor îndelungi eforturi prestate cu talent şi pricepere de cadrul didactic aflat la catedră sau în laborator, comportă o judicioasă nuanţare a modalităţilor de creere a momentelor sau situaţiilor problematizate. Optimizarea rezultatelor predării problematizate presupune atenţie deosebită în selectarea informaţiei, eşalonarea şi gradarea complinirii ei în scopul asigurării oportunităţii momentelor decisive pentru stimularea creativă a efortului de gîndire de care este capabil elevul în ultimele clase de liceu sau studentul devenit apt de prespecializare în primii ani de facultate.

Modalităţile problematizării în domeniul fizicii, în liceu sau în facultăţile de profil, diversifică o gamă însemnată de precauţii şi preocupări, care impun cadrului de predare norme şi procedee specifice, chemate să fertilizeze munca didactică şi ştiinţifică a acestuia. Întrepătrunderea relatărilor expozitiv-informative şi a situaţiilor de activizare, prin problematizare, se realizează printr-o consecventă asociere a elementelor operaţionale care asigură tranziţia de la viziunea de ansamblu la previziunea intuitivă. În procesul dezvoltării cognitive sînt implicaţi factori de intelect şi de ambianţă motivaţional-emoţională. Stimularea creativităţii ca proces elementar în cadrul procesului dezvoltării cognitive presupune amplificarea sensibilităţii şi receptivităţii, ca şi extensia capacităţilor de inducţie-deducţie, sinteză, confruntare şi interpretare activă a datelor şi aspectelor, interconexiunii, cauzalitate etc.

Problematizarea ca o componentă esenţială a activităţii didactico-ştiinţifice, nu trebuie redusă simplist la cîteva metode sau procedee cu caracter de test, conversaţie, exerciţii de verificarea aptitudinilor generatoare de capacităţi şi potenţiale investigative în accepţiunea modernă a cercetării ştiinţifice.

Problematizare, nu înseamnă identificarea problemelor ridicate, enunţate şi nerezolvate cu nişte şarade sau întrebări-ghicitoare, dispersate oricum şi oricînd de-a lungul expunerii. Profesorul trebuie să aleagă cu grijă reperele şi modelele situaţiilor de problematizare, urmărind exersarea sistematică a spiritului de obervaţie, valorificarea posibilităţilor de interpretare rezolutivă a faptelor, fenomenelor şi legilor relatate.

În limitele conceptelor de învăţămînt formativ, problematizarea şi creativitatea includ cu precădere ingeniozitatea, inventivitatea şi intuirea ierarhizării problemelor precum şi a prospectivării soluţiilor. Atmosfera creativă în clasă, în sala de curs sau în laborator trebuie să satisfacă premisele micilor descoperiri personale ale tinerilor elevi sau aspiraţiile de investigare teoretico-experimentală, chiar în faza incipientă, ale studenţilor prinşi şi cuprinşi în activitatea din ce în ce mai laborioasă a cercurilor ştiinţifice studenţeşti, şi nu numai a acestora.

Atît fizica cît şi chimia sau biologia, cu toate celelalte interdiscipline derivate din acestea, se pretează prin excelenţă la folosirea modalităţilor problematizante ca resurse de creativitate ştiinţifică.

Este practic inoperant să se întocmească îndreptare şi borderouri cu recomandări şi sfaturi pedagogice sau didactico-psihologice, recurgîndu-se la citate mai mult sau mai puţin eficiente pentru sublinierea esenţei problematizării, mai ales în cazul şi în situaţia marei majorităţi a cadrelor didactice cu o pregătire de specialitate bine conturată şi o poziţie la catedră care nu permite dubii asupra vocaţiei şi competenţei profesionale. Tot atît de ineficace, dacă nu chiar dăunător, este că se încerce o anumită etapizare stereotipă a momentelor de problematizare în predare, în general, în fizică în special. Cadrul şi jaloanele problematizării în predarea şi învăţarea fizicii pot diferi în funcţie de experienţa proprie a profesorului, de la o lecţie la alta, cît şi între capitole.

Personalitatea didactică şi ştiinţifică a profesorului intervine specific în coroborarea optimă a elementelor de conduită pedagogică şi a momentelor de problematizare. Activitatea de laborator a elevilor şi studenţilor este un prilej unic şi de importanţă majoră pentru creerea situaţiilor problematizante, pentru promovarea unei atitudini investigative din ce în ce mai exigente.

Eficienţa predării problematizante a fizicii poate fi diminuată de abundenţa situaţiilor create în acest scop de profesorul tentat să ridice probleme fără a fi abordat şi rezolvat prea multe mai înainte, după cum mai poate fi afectată nefast şi de bagatelizarea criteriilor de selecţie a problemelor puse elevilor sau studenţilor spre rezolvare, în scopul stimulării şi antrenării lor la o muncă de cercetare, ferită de supraestimarea unor rezultate minore sau descoperirea unor lucruri arhicunoscute.

În consolidarea lecţiilor cu situaţii problematizante, de un real folos pot fi procedeele care recurg la analogii, similitudini sau modele.

În fizică, intuirea şi construirea unor modele care să reflecte aspecte şi interdependenţe esenţiale la scara unor tipuri structurale sau clase de proprietăţi şi particularităţi macroscopice, se dovedesc elemente de problematizare deosebit de utile şi eficiente. Asemenea modele, oricînd perfectibile, pot fi sugerate elevilor şi studenţilor în ideea dezvoltării la ei a aptitudinilor de cercetare şi a formării lor ca specialişti în etapele imediat următoare.

MODALITĂŢI DE REALIZARE A PROBLEMATIZĂRII ÎN ÎNVĂŢAREA CHIMIEI

Lect. *VIORICA LUPU*

Lect. *PAULA STOLERU-CONSTANTINESCU*, Bucureşti

Problematizarea constituie o cale importantă în dezvoltarea potenţialului intelectual al elevilor şi, implicit în cultivarea capacităţilor de operare cu cunoştinţele asimilate.

De aceea, ea constituie o direcţie importantă şi în modernizarea predării chimiei. În investigaţiile noastre am adoptat ipotetic ideea că

problematizarea poate și trebuie să constituie o caracteristică permanentă a procesului de predare a chimiei — la toate nivelele studiului ei, în toate formele și momentele lecțiilor, integrată tuturor metodelor (clasice și moderne) de învățare.

Am verificat experimental această ipoteză realizînd un experiment psiho-pedagogic natural, de durată. În acest scop, am conceput și am dirijat efectiv desfășurarea unui sistem de peste 100 lecții experimentale în cadrul unor capitole mai importante în studiul chimiei, la toate clasele la care se predă chimia (respectiv, VII—XII) în cursul anilor 1966—1971*).

Nu vom putea prezenta extensiv modalitățile metodice concrete de concepere și de realizare practică a lecțiilor experimentale — de învățare pe bază de probleme — întrucît ele au fost multe și de o mare diversitate. În cele ce urmează prezentăm selectiv cîteva concretizări vizînd integrarea și realizarea practică a problematizării în învățarea chimiei.

Am considerat că procedee variate de problematizare pot fi incluse în cadrul aceleiași lecții în diferitele ei momente. Un procedeu în acest sens îl constituie organizarea activității de gîndire a elevilor în studiul unei noi teme — prin valorificarea tuturor cunoștințelor pe baza cărora elevii (chiar în prima clasă de predare a chimiei) ar putea ajunge, independent, la stabilirea unor date noi. În acest sens, putem menționa ilustrativ cum s-a procedat în cazul lecției „Acizii" (la clasa VII-a).

După o succintă verificare a cunoștințelor privind „oxizii" și „bazele" s-a cerut elevilor să indice ce altă categorie de substanțe compuse cunosc. Elevii au fost solicitați în continuare (în baza cunoștințelor lor generale) să se refere la importanța practică a noii grupe de substanțe menționate de ei (acizii). Prin discuții cu clasa, s-au stabilit unele din utilizările acizilor, în diverse sectoare ale producției.

În continuare, elevii au fost solicitați să dea exemple de acizi cunoscuți din studiul capitolelor parcurse anterior; ei au fost puși să noteze acizii menționați pe tablă prin formulele chimice respective pentru a-și da seama de compoziția lor. În cadrul discuției colective cu clasa privind metodele de obținere a acizilor s-a formulat problema:

„Pe baza cunoștințelor voastre anterioare despre substanțele compuse și, desigur, pe baza cunoașterii compoziției acizilor, ce credeți voi — prin ce procedee am putea obține acizii?"

„Dintre metodele propuse de voi, care credeți că ar putea fi verificată experimental în laborator?"

Elevii au făcut propuneri și-n baza unor experimente proiectate de ei au verificat unele din soluțiile propuse.

După verificarea practică a metodelor de obținere, li s-a dat ca sarcină aplicativă să identifice dintr-o suită de substanțe date acizii și să motiveze alegerea făcută. S-a dovedit faptul că elevii reușeau să identifice corect acizii. Pe această bază, s-a adresat elevilor întrebarea:

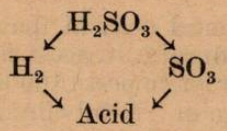
„*Cum credeți că s-ar putea formula definiția acizilor*"? Elevii au dat diferite răspunsuri privind definiția acizilor. Desigur, profesorul a făcut în final aprecieri asupra răspunsurilor date și a subliniat definiția corectă, intervenind cu reformulările necesare.

Elevii au reușit să definească independent, în mod corect, acizii în baza acțiunii lor anterioare de obținere practică a acestora în laborator.

---

*) Cercetarea s-a desfășurat la Liceul nr. 42, din București (prof. *Elena Mocanu*)

Pentru fixarea noțiunii de acid și, respectiv, a compoziției acestei substanțe s-a întocmit, prin discuții cu elevii, un model schematic redînd compoziția acidului sulfuros :



În lecția următoare, după ce s-a dat ca element orientativ reacția tipică de recunoaștere a acizilor (prin folosirea unor indicatori specifici) elevii au fost solicitați să rezolve situații problematice, practice, simple privind recunoașterea acizilor.

În continuare, s-a propus să se verifice experimental alte proprietăți ale acizilor prin experiențe imaginate și desfășurate independent de fiecare dintre elevi. În acest sens li s-a dat sarcina : „Pe baza materialelor pe care le aveți în fața voastră, pe masa de laborator, realizați independent experiențe prin care să puneți în evidență unele din proprietățile acizilor. Notați în caietele voastre observațiile și concluziile care se desprind (privind proprietățile chimice ale acizilor)".

În baza materialelor pregătite (pe masa fiecărui elev), ei au realizat și experiențele privind : 1) reacția dintre clorura de sodiu și acidul sulfuric ; 2) reacția dintre acetatul de sodiu și acidul sulfuric.

Elevii, notîndu-și observațiile și concluziile lor, au putut sesiza problema : „De ce și în cazul primei experiențe și-n cea de a doua, se obține cu ajutorul acidului sulfuric, un alt acid ?" Conduși de profesor ei au putut înțelege că există o diferență de tărie a acizilor și că am putea face o clasificare și o ordonare a lor din acest punct de vedere.

Așa de exemplu, elevul „S. A." (cl. VII-a) arată în răspunsul său, gîndit și formulat independent :

„Din experiențele efectuate, am văzut cum, cu ajutorul acidului sulfuric am obținut alți acizi. De aceea, cred că acidul sulfuric este mai puternic și că este cel mai important. Dacă i-am clasifica, în ordine după puterea lor, am plasa mai întîi acidul sulfuric, apoi clorhidric, apoi acetic".

Nu putem reda filmul complet al lecției și nici mai multe secvențe ; menționăm numai cum s-a procedat în fixare — după ce sistemul cunoștințelor despre acizi, prevăzute pentru clasa VII-a au fost însușite independent, prin efort intelectual propriu.

Pentru a antrena — și în momentul final al lecției — capacitatea de elaborare a elevilor, s-a propus ca ei să rezolve unele exerciții problematice aplicative. Menționăm de pildă exercițiul problematic : „Folosind ca materie primă azotatul de potasiu, ce acid am putea obține ?" etc.

Prin această lecție (redată prin unele secvențe), chiar dacă problematizarea s-a realizat în forme mai simple (fiind vorba de clasa VII-a), rezultă că învățarea problematizată a chimiei este posibilă chiar de la începutul însușirii chimiei și-n toate momentele lecțiilor.

Putem ilustra unele forme mai complexe de problematizare, posibile la clase mai mari.

În anul IV, în cadrul studiului proprietăților chimice ale amidelor — s-au folosit probleme de studiu analogic comparativ. Așa de exemplu, elevii — rezolvînd problema privind stabilirea caracterului chimic al amidelor, prin comparație cu amoniacul și aminele studiate — au fost puși în fața următoarei situații conflictuale, de tip problematic : „Potrivit

analogiei, ar rezulta că amidele (ca și amoniacul etc.) au caracter bazic, totuși această categorie de substanțe chimice are caracter neutru. Atunci, în mod firesc, elevii și-au pus problema : „Cum se explică acest caracter al lor (faptul că, spre deosebire de substanțele din care provin, amidele nu au caracter bazic)?". Elevii au reușit să depășească această dificultate conținută în problema formulată, făcînd apel la cunoștințele lor despre structura acestor substanțe, despre distribuția electronilor, despre posibilitățile de deplasare a acestora în cadrul moleculei, despre fenomenul de mezomerie sau rezonanță.

Pe baza permanentei antrenări a gîndirii lor la lecții, elevii au reușit să stabilească unele date noi (să le „descopere" pentru ei), operînd cu cunoștințele anterioare — în speță, cu cunoștințele fundamentale în chimie. Așa de pildă, la tema „Amoniacul" (anul II) — pe baza cunoașterii structurii și caracterului acestei substanțe — au stabilit independent (în mod practic-experimental) metodele de obținere a amoniacului în laborator.

În acest sens — prin discuții conduse de profesor — elevii au formulat diferite ipoteze privind posibilitățile de obținere a amoniacului în laborator și apoi le-au verificat experimental. Plecînd de la datele observate experimental interpretîndu-le, ei au conchis despre modul de obținere a acestei substanțe.

Menționăm că diferite întrebări și exerciții de problematizare în sensul solicitării intense a gîndirii elevilor în înțelegerea și rezolvarea unor probleme noi s-au inclus în învățare chiar la lucrări de control, teze, în orice moment și în orice formă de lecție.

Ilustrăm unele din aceste exerciții problematizatoare pe care noi le-am inclus în lecțiile experimentale ; ele ar putea sugera unele forme metodice de activizare a gîndirii elevilor.

Așa de pildă, în cadrul studiului capitolului „Nitrili. Acidul cianhidric" (la anul IV), în verificare sau recapitulare se pot da exerciții de genul :

„Știind că prin oxidarea unei substanțe X în prezența amoniacului și catalizatori (aliaj platină-rodiu), se obține un produs Y, care adiționat la acetilenă — în prezență de catalizatori (clorură cuproasă și clorură de amoniu) — dă produsul din care se pot obține fibre textile sau cauciuc sintetic — notați ecuațiile reacțiilor ce presupun transformările respective (prin identificarea substanțelor necunoscute și notarea formulelor lor) (la anul IV).

În același sens, menționăm și următoarea sarcină problemă : „Dacă am folosi ca materie primă butanul separat din gazele de cracare, cum am putea obține cauciuc sintetic?". Arătați soluțiile voastre prin notarea respectivelor procese chimice". (anul III)

În sens analog : „Utilizînd gazele de cracare ca materie primă, ce produse importante din punct de vedere economic s-ar obține?" (anul III)

Pentru cultivarea capacității de operare cu formulele configurației electronice, s-au dat exerciții — problemă de tipul :

„Dacă la configurația electronică a atomului unui element exprimată simbolic $1s^2\ 2s^2$ am adăuga simbolul $2p^2$, cărui element ar corespunde configurația obținută prin adăugarea acestui simbol. Dacă acest element l-am oxida, ce produși importanți cu oxigenul s-ar obține? Explicați structura compușilor respectivi" (anul II).

În dezvoltarea capacității de reprezentare a unui sistem de transformări în lanț, utile au fost și exercițiile problemă de forma :

„Prin oxidarea elementului X se obține produsul Y, care în reacție cu apa dă hidroxidul de sodiu (NaOH) iar acesta trece în produsul Z în reacție cu un acid și din produsul Z se obține $BaSO_4$. Identificați substanțele necunoscute și explicați transformările respective ; notați prin ecuații reacțiile chimice corespunzătoare". Cu același scop s-a folosit și exercițiul :

„Înlocuiți în șirul de reacții de mai jos literele a, b, c, prin formulele corespunzătoare :

$$a + KNO_3 \rightarrow b$$
$$b + Cu \rightarrow c$$
$$c + NaOH \rightarrow d$$

„Cu cine ar mai putea reacționa „b" pentru ca să rezulte o substanță similară lui c"? (anul II).

Predarea chimiei dispune de multiple posibilități privind legarea învățămîntului de problemele vieții, ale activității practice — productive. Un loc important în pregătirea practică a elevilor, îl au lucrările de laborator — realizate într-un mod problematizat. Nu putem însă pierde din vedere faptul că fiecare tip de lecție — în diferite momente ale ei — oferă un cadru oportun și necesar de realizare a legării cunoștințelor teoretice de aplicațiile lor practice în diversele domenii ale vieții, ale activității productive.

În acest sens, în cadrul lecțiilor experimentale am acordat o atenție sporită relaționării permanente a cunoștințelor teoretice la sfera diverselor probleme practice aplicative.

Am considerat însă necesară o atenție sporită cu privire la cuprinderea în lecții a acestor probleme și stimularea mai amplă a elevilor în a rezolva independent diferite sarcini aplicative, pe această direcție. Așa de pildă, elevii erau solicitați să rezolve probleme de genul : „Cum am putea obține fibra sintetică (textilă) melana, valorificînd ca materie primă gazul metan (anul IV). „Folosind ca materie primă clorura de sodiu, ce substanțe importante din punct de vedere economic putem obține?" (anul III). Desigur, rezolvarea acestor probleme solicită intens operarea cu cunoștințele asimilate, în situații noi, relativ diferite, dar care — datorită acestei maniere constante de angajare la lecție — erau depășite de toți elevii, în condițiile unei atente dirijări asigurîndu-se premizele găsirii căii de abordare și a modului de soluționare.

Astfel, la probe date în acest sens, elevii claselor experimentale au dat răspunsuri corecte în procente de peste 80%.

Subliniem că, sarcinile privind prezentarea și explicarea utilizărilor practice ale diferitelor elemente și substanțe chimice constituiau cadrul pentru formularea unor situații problematice din cele mai stimulative pentru gîndirea elevilor. Am putea menționa în acest sens unele probleme ce s-au inclus cu acest scop în cadrul diferitelor lecții. Ele erau formulate uneori de profesor, alteori de către elevi, în urma dirijării lor adecvate în cadrul unor discuții colective cu clasa.

Așa de exemplu, după studiul temei „Îngrășăminte chimice", s-au formulat probleme de genul : „Ca să mărim fertilitatea solului cu caracter acid, ce îngrășămînt credeți că am putea folosi? Ce am putea cultiva pe un asemenea sol, îmbunătățit cu îngrășămintele propuse de voi? (cl.

VII-a) „Pentru a mări fertilitatea solurilor, se foloseşte un îngrăşământ valoros — amofosul. Ce materii prime credeţi că s-ar putea valorifica în vederea obţinerii acestui îngrăşământ complex?" (anul II).

Alteori, la aceeaşi temă elevii erau solicitaţi să rezolve probleme de recunoaştere a îngrăşămintelor, sau să pregătească amestecuri de îngrăşăminte, să determine necesarul de substanţe nutritive după analiza solului. Aceste solicitări creează dificultatea intelectuală firească pentru gîndirea elevilor — şi stimulează formarea unor capacităţi de operare practică cu cunoştinţele asimilate.

Loturile experimentale ale şcolii pot avea o deosebită importanţă pe această direcţie.

Este necesar — ca de la prezentarea şi explicarea diferitelor utilizări practice ale elementelor şi substanţelor chimice, sau de la prezentarea modalităţilor de obţinere a acestora în industrie — să se treacă la punerea şi rezolvarea unor probleme practice mai complexe privind obţinerea unor substanţe şi calcularea randamentului de reacţie; analiza unor produse, probleme de cercetare — de prevedere a unor posibilităţi de sporire a randamentului în producerea unor substanţe pe scară industrială sau privind îmbunătăţirea unor procese tehnologice.

Ilustrînd unele posibilităţi concrete în acest sens, menţionăm de pildă, că în cadrul lecţiei cu tema: „Electroliza" (la anul II), se poate folosi ca bază de plecare, pentru formularea unor probleme, datele sau rezultatele obţinute în urma activităţii efective productive a elevilor în unităţile economice corespunzătoare. Aşa de pildă, executînd efectiv unele operaţii de nichelare, de cromare, etc. aceste operaţii pot fi supuse analizei, cu care prilej se pot formula diferite probleme a căror rezolvare să comporte o interpretare din punctul de vedere al teoriei electrochimice.

Anumite probleme de chimie cît şi, mai ales, unele privind aplicaţiile acestora în domeniul proceselor tehnologice complexe pot fi greu recepţionate de elevi în condiţiile obişnuite. Pe această direcţie o valoare didactică (formativ-educativă) complexă o poate avea, desigur, filmul.

Pentru evidenţierea multiplelor posibilităţi pe care le oferă situaţiile problematice a căror rezolvare elevii o dau pe baza informaţiilor dobîndite prin film, vom ilustra datele obţinute de pildă în urma lecţiei — film la tema: „Elaborarea oţelului". Prin analogie cu studiul fontei, elevii au fost solicitaţi să desprindă problemele pe care cred ei că vor trebui să le urmărească în secvenţele de film — privind procesul tehnologic corelat cu cel chimic, în cazul elaborării oţelului. Astfel, prin participarea elevilor, anticipat vizionării şi-n vederea urmăririi atente a filmului prezentat — s-au formulat anumite probleme. Menţionăm unele dintre ele:

1. Ce puteţi spune despre oţel, din punct de vedere al compoziţiei lui şi al importanţei economice pe care o prezintă?

2. Care sînt perspectivele de dezvoltare a industriei oţelului în ţara noastră?

3. Ce materii prime se folosesc la obţinerea oţelului şi care este principiul de bază care explică procedeele folosite în obţinerea acestuia?

4. Cum credeţi că s-ar putea mări productivitatea convertizoarelor şi, deci, reduce preţul de cost al oţelului obţinut; ce tip de convertizor se va putea folosi în acest scop?

5. Condiţionat de sursele de energie electrică, ce procedee de obţinere a oţelului, ce instalaţii se pot folosi? (indicaţi principiul de funcţionare şi avantajele procedeelor).

Elevii au putut stabili independent (pe bază de imagini filmate) compoziția oțelului, modul de obținere, utilizările sale practice și perspectivele de dezvoltare a industriei siderurgice în cadrul economiei noastre naționale.

Așa de exemplu, în răspunsurile lor, elevii relevau importanța oțelului argumentînd : „fără oțel nu se poate imagina o industrie automatizată și nu se poate construi o societate socialistă.

Menționăm că rezultatele statistice ne-au evidențiat că, la toate probele date (peste 50) elevii claselor experimentale—deprinși cu stilul problematizării — pot rezolva sarcini de gîndire, cu diferite grade de complexitate, în procente ce sînt, predominant, între 85 și 100%. Elevii claselor de control — care n-au studiat prin această metodă — dau răspunsuri corecte în procente mult mai mici (predominant, sub 75%), fiind, în mod semnificativ, sub nivelul claselor experimentale. Ni s-a demonstrat astfel valoarea instructiv — formativă a problematizării în sporirea eficienței predării chimiei.

În studiul de față, noi nu am relevat decît unele modalități de realizare a problematizării în învățarea chimiei. Spațiul rezervat acestui studiu, nu ne-a permis o expunere mai amplă a modalităților posibile de problematizare și nici nu am putut insista asupra analizei datelor experimentale cu abordarea lor statistică.

Însă, în baza ansamblului datelor experimentale și a analizei lor calitative și statistice, putem conchide faptul că problematizarea poate contribui substanțial la sporirea valorii formative a procesului instructiv, la cultivarea independenței de gîndire a elevilor ; ea contribuie la formarea capacității de operare practică cu cunoștințele anterioare, în situații noi.

Legarea predării chimiei de problemele practice aferente domeniului aplicativ al chimiei, oferă posibilități deosebit de importante în realizarea învățării prin problematizare. De asemenea putem conchide faptul că problematizarea poate fi o importantă cale atît pentru stimularea gîndirii independente a elevilor cît și pentru cultivarea atitudinilor superioare, moral-politice și patriotice, în formarea personalității elevilor. Multiplele valențe formative ale problematizării pot fi puse în valoare prin integrarea sistematică a acestui principiu în toate formele de lecții și-n toate momentele predării, la toate nivelele de studiu al chimiei în școală.

Cercetările psiho-pedagogice, în acest sens, au menirea de a evidenția formele specifice și cele mai adecvate de realizare a problematizării în diversele situații ale învățării chimiei, în raport cu obiectivele instructiv-formative multilaterale ale acesteia.

PERFECȚIONAREA TEHNOLOGIEI ÎNVĂȚĂRII

Învățarea problematizată — lecția de fizică

Prof. *ADRIANA ELENA TEODORU*

Lector *Univ. LIDIA PANAIOTU*, București

În condițiile contemporaneității învățarea trebuie să se desfășoare ca un proces activ, să facă tot mai mult apel la independența în gîndire și acțiune a elevilor, să cultive capacitatea lor de a rezolva situații proble-

matice. Învățarea problematizată angajează în mod permanent gîndirea elevilor în elaborarea de idei, în stabilirea de relații, în dezvăluirea elementelor comparative între fenomene.

În procesul de învățare situația problemă va determina o mobilizare deplină a personalității elevului. Ea implică și o „întîrziere" o anumită „amînare" a răspunsului (M. Ralea); aceasta nu înseamnă o suspensie a activității de cunoaștere, ci dimpotrivă, intensificarea ei prin elaborările pe plan intern a unor ipoteze și soluții. Prin „amînare" în plan intelectiv omul își acordă singur răgazul necesar căutării, găsirii soluțiilor în situații noi.

În procesul de învățare cunoașterea elevilor avansează atît sub aspect informațional, cît și operațional (al structurilor intelectuale, al capacităților de gîndire) numai într-un cadru problematic.

Acolo unde nu dispunem de procedee algoritmice, vom folosi procedee euristice. „Euristica tinde către generalitate, către studiul unor metode independente de conținut și aplicabile la probleme de orice natură (G. Polya„ Cum rezolvăm o problemă?") Înțelegînd prin „intuiție" o descoperire bruscă, aparent nepregătită, a soluției situației problematice am neglijat procesul de căutare, de elaborări pe plan intern și uneori latent.

Dezvoltarea intuiției poate fi considerată ca o componentă în învățarea creativă. Deși concluziile intuiției trebuie verificate prin metode analitice, inductive sau deductive, ele reprezintă ipoteze demne de o asemenea verificare. Elevii trebuie încurajați să „ghicească" soluțiile cu scopul ca în cele din urmă, să învețe să facă conjuncturi inteligente. Un elev trebuie însă să fie pregătit să recunoască plauzibilitatea ipotezelor.

Regulile euristice generale, folosirea analogiei, apelul la simetrie, examinarea condițiilor restrictive, vizualizarea soluției, după ce au fost folosite frecvent în școală vor fi un suport al gîndirii intuitive, a omului devenit adult.

Modalitatea menită să pună în acțiune pe elev, să-l mobilizeze integral este transmiterea de cunoștințe într-un cadru problematic.

„Însușirea cunoștințelor este cu atît mai eficientă cu cît se sprijină pe activitatea proprie a elevului care este pus în fața unor întrebări, a unor sarcini cognitive, fiind antrenat continuu în găsirea de noi legături, în stabilirea unor concluzii, în descoperirea adevărurilor. (P. Popescu Neveanu — Studii de didactică experimentală 1965).

Fizica, ca oricare obiect de studiu este susceptibilă de o elaborare didactică în raport cu cerințele problematizării.

Problematizarea cuprinde euristica, dar reprezintă cu mult mai mult. Strategia rezolvării situației problematice trebuie pusă la punct în amănunțime. Obstacolele care se pun în fața elevului trebuie să fie în același timp stimulative și accesibile, altfel se obțin rezultate contrarii celor așteptate.

Problemele trebuie alese și formulate astfel ca să permită orientarea justă a elevilor, să sporească eficiența învățării, să trezească interesul.

Punerea elevului în fața unor probleme de cercetare științifică, în ultimă instanță, conduce la stabilirea unui contact strîns și bilateral între propunător și rezolvitor.

Găsirea soluțiilor în colectivul clasei, prin contribuția mai multor elevi, este de natură să activizeze elevii în masă, să sporească posibilitățile de control asupra fiecăruia din ei. Problematizarea dezvoltă capacitatea

de aplicare a cunoştinţelor şi ingeniozitatea. Elevul ajunge să-şi pună singur probleme, să le sesizeze acolo unde s-ar fi părut că totul era clar. „Afirmarea problematizării ca principiu diriguitor al activităţii didactice aduce o contribuţie însemnată la combaterea pasivităţii şi suficienţei, la dezvoltarea gîndirii creatoare" (P. Popescu Neveanu).

Pentru a ilustra predarea de noi cunoştinţe într-un cadru problematic prin metoda descoperirii dirijate am ales lecţia „Inducţia electromagnetică", care s-a desfăşurat pe parcursul a două ore consecutive în aceeaşi zi. Elevii au fost grupaţi ca la lucrările de laborator fiecare grupă de 2—3 elevi avînd aceleaşi materiale pe care le avea şi profesorul pe masă. Experienţele s-au efectuat frontal, observaţiile au fost comentate în clasă şi apoi notate în caiete.

Pe tot parcursul celor două ore elevii au manifestat un viu interes, nu au dat semne de plictiseală, au contribuit intens la construirea sistemului de cunoştinţe care fusese scopul instructiv al lecţiei.

Pe lîngă scopul instructiv explicit comunicat elevilor, procesul de „descoperire a fenomenului" a fost astfel dirijat încît să se realizeze un maxim de efect formativ. S-a urmărit exploatarea deprinderilor lor practice de a citi indicaţiile unui instrument, de a manipula aparatura de laborator, în vederea extragerii unor concluzii generalizatoare, în vederea formalizării matematice a rezultatelor observaţiilor experimentale.

Pentru un grup de elevi mai puţin obişnuiţi a lucra cu elemente simple de circuit, cu aparate de măsură, lecţia ar putea să piardă din consistenţă din cauza neîndemînării, din cauza stării neobişnuite pe care le-o provoacă copiilor apropierea aparaturii de laborator.

Pentru a se putea urmări mai bine comentariul pe marginea acestei lecţii vom da mai jos filmul ei.

Se recapitulează sumar efectele curentului (chimic, caloric, magnetic). Se aminteşte că se cunosc generatoare electrice chimice şi termice (termocupluri).

Se formulează problema : Dacă există o reciprocitate în transformările de energie chimică — electrică şi termică — electrică, după cum apare cîmp magnetic în jurul curentului, ar fi posibilă şi apariţia curentului (cîmpului electric) datorită cîmpului magnetic ?

Se propune rezolvarea problemei pe cale experimentală. Se întocmeşte un tabel pentru înregistrarea observaţiilor :

Experienţa	Operaţia	Observaţia	Semnificaţia observaţiei	Concluzia

1.—Se introduce magnetul în bobină, se fac legăturile între bobină şi galvanometru. Acul nu se mişcă de la zero. Deviaţia acului indică *I*. Elevii notează concluzia : cîmpul magnetic nu produce curent într-un circuit pe care-l străbate.

Profesorul scoate magnetul din bobină şi îndeamnă elevii să facă la fel, întrebîndu-i în acelaşi timp cum ar trebui procedat în continuare.

Unii copii observă că în timpul scoaterii magnetului acul a deviat şi anunţă aceasta cu glas tare.

Profesorul ia în seamă observaţia lor şi propune verificarea.

2. — Se introduce magnetul în bobină ; se observă deviaţia acului cît timp magnetul este în mişcare.

3. — Se scoate magnetul din bobină, acul deviază din nou, în sens contrar, tot numai atît timp cît a existat mişcarea. Cum deviaţia acului atestă prezenţa curentului, se poate nota concluzia : cînd se mişcă magnetul faţă de circuit, apare curent.

4. — Se menţine magnetul fix şi se mişcă bobina. Acul deviază în timpul mişcării relative a bobinei faţă de magnet. Se stabileşte astfel că nu este important cine se mişcă, important este ca fluxul magnetic prin circuit să fie variabil.

Concluzie : Într-un circuit intersectat de un flux magnetic variabil apare curent de inducţie.

Comparînd problema pusă la începutul lecţiei cu rezultatul şirului de experienţe se poate aprecia că problema este rezolvată : Apare curent într-un circuit electric datorită variaţiei fluxului magnetic prin circuitul respectiv.

P : Ne putem mulţumi însă numai cu această constatare ?

E* : Trebuie să cunoaştem şi legile fenomenului.

P : Cum putem găsi legile ?

E : Experimental, observînd cu multă atenţie fenomenul.

P : Să încercăm atunci să stabilim aceste legi.

Introduceţi încet(lent) de tot magnetul în bobină. Ce observaţi ?

E : Deviaţia acului este mică.

P : Scoateţi magnetul din bobină, lăsaţi să se oprească acul şi introduceţi-l din nou, de data aceasta foarte repede (brusc). Ce observaţi ?

E : Acul deviază foarte mult !

P : De cine depinde valoarea tensiunii electromotoare induse ?

E : De viteză.

P : De viteza cui ?

E : A magnetului faţă de bobină !

P : Dar dacă ţinem magnetul pe loc şi mişcăm bobina ?

E_1 : Dacă mişcăm bobina astfel ca spirele să fie paralele cu liniile de forţă nu se obţine deviaţia acului.

P : Foarte justă observaţia ! Cum se exprimă fluxul printr-o bobină ?

E_1 : $\Phi = B N S.$

P_1 : Şi cine variază în cazul mişcării descrise de tine ?

E_1 : Nici un element.

P : Să ne întoarcem atunci la problema noastră. De cine depinde valoarea tensiunii electromotoare induse ?

E. De $\Delta\Phi$.

P : Bun ! Dar numai atît ? Cum rămîne cu timpul în care s-a făcut mişcarea, variaţia de flux ?

E : $$e \sim \frac{1}{\Delta t}$$

P : Dar faţă de $\Delta\ \Phi$?

E : $$e \sim \Delta\Phi$$

*) Un elev din clasă.

P. Atunci putem să tragem concluzia că $e \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$?

E. Da.

P. Intr-adevăr. Aceasta este legea lui Faraday. M. Faraday a descoperit fenomenul mergînd pe un drum similar cu al nostru.

Se scrie pe tablă: $|e| \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

E_1: Tovarăşe profesor, dar de ce cînd introducem magnetul acul deviază într-un sens, iar cînd îl scoatem în alt sens?

P: Oare numai sensul de mişcare influenţează sensul deviaţiei acului? Aţi lucrat pînă acum cu polul N al magnetului. Ia încercaţi să introduceţi polul Sud.

E: Cînd introducem polul Sud acul deviază ca şi cînd am scoate polul Nord.

P: Să încercăm să ţinem seama de sensul liniilor de forţă (de la N la S) şi de sensul curentului în bobină, după acul galvanometrului. Să aducem N spre bobină. Priviţi cum deviază acul. Ce sens are curentul în bobină?

Ce pol se formează pe faţa bobinei pe unde intră polul N?

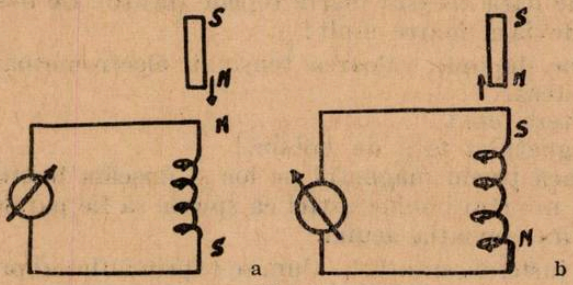


Fig. 1.

E: Tot polul N !

P: Cum interacţionează între ei polii de acelaşi nume?

E: Se resping!

P: Cum este orientată faţă de sensul mişcării forţa de respingere care apare între polul Nord (inductor) şi polul Nord (indus)?

E: În sens contrar !

P: Priviţi acul cînd scoatem polul N din bobină. Stabiliţi ce pol se formează pe faţa de sus a bobinei.

E: Acul deviază în celălalt sens. Pe faţa superioară a bobinei se formează polul S. De nume opus polului inductor (N).

P: Cum e acum sensul interacţiunii faţă de sensul mişcării?

E: Tot sens contrar!

P: Ce am putea spune despre sensul curentului indus?

E: Dacă ne gîndim la cîmpul la care dă naştere, sensul curentului este mereu aşa ca să se opună mişcării.

P: Direct mişcării? Ce efect are mişcarea asupra fluxului care străbate bobina?

: Produce variaţia fluxului.

P : Am putea spune deci că „sensul curentului indus este astfel încît prin cîmpul magnetic la care dă naţşere să se opună variaţiei de flux inductor" Cum am putea nota aceasta simbolic?

E. . . . .cu un semn minus . . . . . .

P : Într-adevăr, dacă în expresia legii lui Faraday punem un minus, unităţile de măsură au fost astfel alese încît să se scrie :

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Legea sensului a fost stabilită de Lenz şi de aceea îi poartă numele.

P : Să verificăm experimental că într-adevăr nu mişcarea este totul, ci variaţia fluxului. Să considerăm două bobine cu diametrele astfel încît să intre una în alta.

O bobină se leagă la un generator de c.c. printr-un întrerupător şi un galvanometru şi cealată direct la un galvanometru.

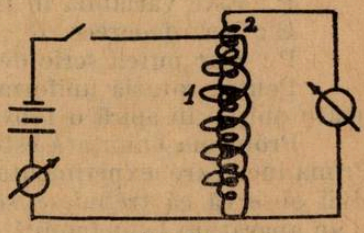


Fig. 2

1. Închidem circuitul. Se observă o deviaţie a acelor celor două galvanometre (în sensuri contrare), după care acul galvanometrului bobinei legate la generator se stabilizează la o valoare (corespunzătoare curentului din circuit), dar celălalt ac se fixează la zero.

2. Întrerupem circuitul. Acul galvanometrului din circuitul cu generator revine la zero. Acul galvanometrului bobinei fără generator deviază în sens contrar primei dăţi şi revine apoi şi el la zero.

3. Se repetă ambele experienţe de mai sus, dar în bobina mai mică se introduce un miez de fier moale. Se observă că sensurile deviaţiilor sînt aceleaşi cu cele descrise mai sus, dar că valoarea deviaţiei acului galvanometrului din circuitul fără generator este sensibil mai mare.

E : Comentează experienţa. $\Phi_2 = B_1 N_2 S_2$, dar B_1 poate fi produs de curent, $B_1 = \mu \frac{N_1 I_1}{l_1}$

Cînd se închide circuitul intensitatea curentului creşte de la 0 la I, şi deci B_1 variază, astfel variază fluxul Φ_2 de la 0 la valoarea Φ.

Cît timp I este constant, Φ_2 nu variază, inducţia în bobina 2 nu se produce. Dacă se deschide circuitul, intensitatea scade de la valoarea I la valoarea 0 şi prin B_1 scade şi fluxul. De aceea în bobina 2 apare din nou curent de inducţie. Sensul curentului indus a doua oară este contrar primului, deoarece acesta corespunde la o scădere a fluxului, pe cînd celălalt corespunde la o creştere a fluxului. Cum $B \sim \mu$ variaţia de flux a fost mai mare în prezenţa miezului de fier şi de aceea şi valoarea curentului indus a fost mai mare.

Pe parcursul explicaţiei date de elev se reiau acele momente experimentale care-l ajută în expunere.

P : Cum ar trebui să se exprime riguros legea lui Faraday? Să ţinem seama că Δt poate fi ori cît de mic.

E : $e = -\frac{d\Phi}{dt}$

P : Care este expresia cea mai generală a lui Φ ?

E : $\Phi = BS \cos \alpha$, unde α este unghiul făcut de $\vec{B}$ cu normala la S.

P : Să considerăm un cîmp uniform și constant și o spiră care se rotește în el (cu axul perpendicular pe liniile de cîmp). Ce devine expresia lui Φ ?

E : $\Phi = BS \cos\alpha = BS \cos \omega t$, deoarece $\alpha = \omega t$ la rotație uniformă și

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \qquad e = -BS\omega(-\sin \omega t) = B\omega S \sin \omega t$$

P : Ce dimensiuni are produsul $B\omega S$?

E : Weber s^{-1} = volt, o tensiune !

P : Este variabilă în timp ?

E : Nu, deoarece B = constant, ω = constant, S = constant

P : S-ar putea scrie deci : $e = E_0 \sin \omega t$

Pentru rotația uniformă a unei spire în cîmp omogen și constant se poate obține în spiră o tensiune electromotoare sinusoidală (alternativă.)

Problema enunțată este susceptibilă de a fi rezolvată experimental. Prima încercare experimentală eșuează. Perseverînd în această încercare elvii observă că trebuiesc schimbate condițiile experimentale. Faptul că ei au aparatura la îndemînă și sînt liberi să facă multiple încercări permite acest lucru. În această etapă a cercetării nu trebuie eliminată „încercarea și eroarea" deoarece, elevii nu puteau avea în cunoștințele anterioare nici un element care să le permită o anumită strategie a căutării. Eliminînd în acest punct reușita prin încercare și eroare, eventual cu ajutorul unei sugestii din partea profesorului, activitatea rezolutivă a elevilor ar fi avut un caracter artificial.

Se experimentează pas cu pas și se ajunge la stabilirea condițiilor în care apare fenomenul de inducție electromagnetică. Dar simpla constatare a fenomenului nu mulțumește pe elevi, ei propun să se continue experimentarea pentru a se desprinde legile fenomenului. Prin felul cum s-a desfășurat începutul lecției a fost stîrnită curiozitatea elevilor față de acest fenomen nou pentru ei. Elevii sînt dirijați discret să formuleze observațiile lor cît mai corect, făcînd numai generalizările potrivite. În timpul experiențelor pentru rezolvarea unei probleme (valoarea tensiunii electromotoare induse) elevii își formulează ei singuri probleme noi (de cine depinde sensul tensiunii electromotoare induse).

Ultima parte a lecției face apel la capacitatea de abstractizare a elevilor. Convinși de realitatea fenomenului de inducție studiat în prima parte a lecției ei admit variația fluxului inductor fără a o intui direct (experiența cu cele două bobine). Acest lucru permite să se facă apoi generalizarea maximă : Un cîmp magnetic variabil generează cîmp electric variabil (și fără prezența unui conductor).

Lecția se încheie cu sugerarea unei modalități practice de obținere a curentului electric alternativ sinusoidal.

Mergînd pe linia unor căutări în sensul activizării învățării, rezultatele nu vor întîrzia să se arate. Problematizarea și euristica, modelarea și analogia, solicitările inventive, pot să fie momente nelipsite din orice lecție de fizică.

BIBLIOTECA „ASTRA
SIBIU

ÎNCERCĂRI DE PROBLEMATIZARE A UNOR LECȚII RECAPITULATIVE

Prof. *RODICA NICOLAICIUC*, București

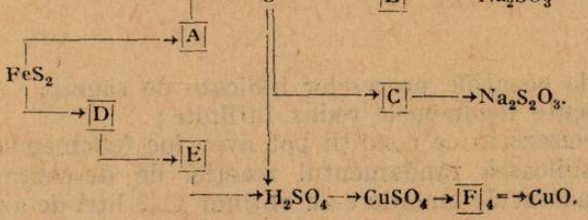
Dintre toate metodele moderne utilizate în ultima vreme în învățămînt, mi-a plăcut în mod deosebit metoda problematizării. Am încercat utilizarea metodei la toate tipurile de lecții și deci și la cele recapitulative și acum afirm cu toată convingerea că solicitarea elevilor în rezolvarea diverselor situații problematice este una dintre cele mai valoroase procedee ce au stat dintotdeauna la dispoziția dascălilor.

Am realizat lecții recapitulative fie prin lucrări frontale de laborator, fie pe seama rezolvării unor probleme teoretice sau practice. Lucrările de laborator recapitulative au devenit mai interesante utilizînd problematizarea căci au cîștigat un fundament teoretic solid și s-au apropiat în multe momente de munca unui cercetător.

Am anunțat — de exemplu — elevilor de anul II că în ora următoare vom avea o lucrare de laborator cu tema „Fenomene redox la care participă S și unii compuși ai lui", și le-am cerut ca acasă să selecteze din materialul parcurs acele experiențe care s-ar încadra în subiect și ar putea fi realizate în laboratorul nostru.

Ora recapitulativă a început prin discutarea experiențelor propuse de elevi, a căror gîndire a fost direcționată de planul ce l-au găsit scris deja pe tablă și pe care trebuiau să-l completeze pe parcurs. În selectarea lucrărilor de executat trebuiau să mai rezolve o situație problematică și anume să țină seama și de reactivii existenți pe mesele de lucru și de asemenea de faptul că unele substanțe erau prezente pe toate mesele de lucru (S, apă de H_2S, H_2SO_4, sulfit de potasiu etc.). iar altele doar pe unele (apa de brom era înlocuită cu apă de iod, permanganatul de potasiu apărea în loc de bicromat de potasiu sau în loc de sulfat cupric). Am încercat prin aceasta să realizez o autonomie în raționamentul fiecărui elev, colegii putîndu-se influența reciproc mai puțin. După ce am stabilit cu întreaga clasă experiențele de realizat în cadrul fiecărei teme elevii știau că vor trebui să execute cîte 5 lucrări cu care vor contribui la obținerea unor concluzii parțiale și apoi finale pentru capitolul recapitulat. Deoarce experiențele s-au desfășurat rapid, tema s-a încadrat în economia orei de curs (cu toate că unele din lucrări nu se mai efectuaseră la clase), iar la sfîrșitul orei pe tablă și pe caietul fiecărui elev, era întocmit planul lecției.

Ora următoare s-a desfășurat la verfix unde elevilor li s-au propus spre rezolvare scheme și probleme numerice a căror rezolvare se baza în mare măsură pe concluziile lucrării de laborator anterioare. S-a propus de exemplu :



și li s-a cerut :

— să identifice substanțele A, B, C, D, E, și F;
— să discute condițiile în care se pot produce reacțiile indicate de săgeți;
— să indice și să studieze fenomenele redox la care participă S;
— știind că se obțin 980 g acid sulfuric să se calculeze cantitatea de pirită cu 50% impurități folosită;
— ce volum de gaz — măsurat în condiții normale — rezultă ca produs secundar la obținerea acidului sulfuric direct din sulf;
— propuneți obținerea sulfatului de cupru așa încît pentru un mol sulfat de cupru să nu se consume decît un mol acid sulfuric.

Pentru centralizarea și validarea răspunsurilor am utilizat verfixul și discuțiile cu întreaga clasă,

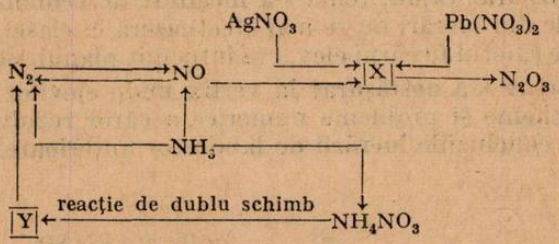
De exemplu după epuizarea timpului de gîndire afectat întrebării a 3-a li se cere elevilor să efectueze încă un proces de selecție și anume să aleagă dintre substanțele propuse doar pe cele la care se ajunge printr-un proces în care sulful este reducător.

Întrebarea următoare cerea efectuarea unor operații numerice. Le-am propus următoarele cantități de pirită

1	2	3	4	5	6
875 g	600 g	300 g	1.200 g	450 g	alte soluții

Soluția 2 viza o eroare frecventă datorită unui calcul incomplet (nu se adaugă impuritățile) soluțiile 3 și 4 erori frecvente în stabilirea relației stoechiometrice de la prăjirea piritei, iar soluțiile 1 și 5 erori de raționament. Indicarea soluției corecte, mascată sub forma „alte soluții" nu s-a putut face la întîmplare căci am cerut precizarea și justificarea ei. Faptul că soluțiile propuse de mine cuprindeau erorile tipice comise de elevi a condus — în mod rapid și precis — la depistarea problemelor ce trebuiau reluate și clarificate.

Mi s-a părut interesantă utilizarea unor asemenea scheme de reacție pe care le-am propus spre rezolvare și elevilor din alți ani de studiu. De exemplu elevilor din anul II li s-a dat :

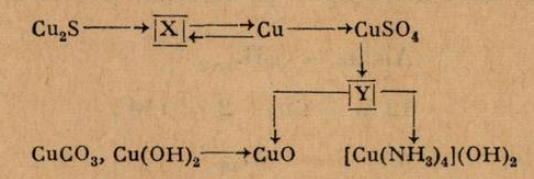


și li s-a cerut :

— să scrie ecuațiile proceselor indicate de săgeți;
— să discute fenomenele redox întîlnite;
— să precizeze în ce condiții pot avea loc fenomenele;
— să stabilească randamentul reacției de descompunere termică dacă din 80 g azotat de amoniu s-au obținut 11,2 litri de azot.

Am utilizat uzual — la fiecare element învățat — asemenea scheme, căci ele oferă posibilitatea discutării materialului parcurs în altă ordine și după alte coordonate decît la predare.

Am folosit acest gen de discuție și la anul III de exemplu :



Pentru a determina substanțele necunoscute (X, Y...) elevii sînt obligați să compare, să generalizeze, apoi să particularizeze noțiunile ce le au despre diverse clase de compuși. De exemplu pentru a determina pe X vor trebui să găsească o substanță care se poate obține și din calcosină și din cupru metalic și care reprezintă o etapă intermediară în obținerea industrială a metalului. În mod asemănător pentru a-l identifica pe Y vor fi obligați să se gîndească la o substanță care poate conduce atît la CuO cît și la $[Cu(NH_3)_4]\ (OH)_2$ și care se poate obține din $CuSO_4$.

Am evitat ca în rezolvarea problemelor de acest fel să ne mărginim doar la întocmirea ecuațiilor chimice. Părțile cele mai interesante ale discuțiilor s-au referit la :

— propunerile de a realiza cît mai frumos diversele transformări, de a argumenta cît mai convingător identificarea substanțelor necunoscute, de a discuta cît mai rațional condițiile de respectat în obținerea diverșilor compuși etc.

Utilizez și în studiul chimiei organice asemenea scheme de reacție. Alături de ele se rezolvă și exerciții numerice de tipul acestuia, propus la anul III după capitolul „Alcani" : un mol dintr-un alcan X conduce prin cracare la 2 moli metan + un mol butadienă. Se cere :

— să se determine structura alcanului ;

— să se calculeze volumul de aer (măsurat în condiții normale) necesar arderii unui litru din hidrocarbura saturată ce se obține la piroliza simetrică a lui X ;

— ce cantitate — în moli și în g — din hidrocarbura X poate fi monosubstituită, utilizînd 0,6 Kg soluție 49% H_2SO_4.

În scopul determinării substanței X, elevii au fost obligați să gîndească în felul următor : ruperea moleculei de alcan s-a făcut în 2 locuri ; moleculele de metan conțin atomii de carbon primar ai alcanului. Deci :

$$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3 \rightarrow 2CH_4 + CH_2=CH-CH=CH_2$$

La ruperea simetrică a lui X se obțin :

$$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3 \rightarrow H_3C-CH_2-CH_3 + H_2C=CH-CH_3$$

și deci hidrocarbura saturată care va arde este propanul.

Un alt exercițiu propus spre rezolvare elevilor din anul III imediat după parcurgerea capitolului „Alchene" este următorul : un mol din alcanul de masă moleculară 114 conduce prin piroliză simetrică la un mol izoalcan X + un mol izoalchenă Y. Se cere :

— determinarea compoziției și a structurii alcanului considerat ;

— cantitatea — în moli și în g — din izoalcanul X ce poate fi monosubstituită utilizînd 0,8 kg soluție 31,5% din HNO_3;

— ce produse și în ce cantități se obțin la oxidarea a un mol substanță Y, cu amestec de bicromat cu acid sulfuric.

În rezolvare, elevii au început cu determinarea formulei moleculare :

$$\text{Alcan} \rightarrow C_nH_{2n+2}$$

$$12\ n + 2n + 2 = 114;$$

$$n = 8 \rightarrow C_8H_{18}$$

Găsirea structurii a fost ceva mai complicată :

— alcanul inițial trebuie să prezinte 2 ramificații identice;

— ramificațiile nu pot fi decît radicali — CH_3;

— structura : $CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_3$ se exclude deoarece la piroliză ar conduce la catene liniare;

— structura cea mai probabilă este deci :

$$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3 \longrightarrow CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3 + H_2C=\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}-CH_3$$

și atunci izoalcanul X este 2 metil propanul, iar izoalchena Y este 2 metil propena. Prin oxidarea izoalchenei cu amestec oxidant :

$$K_2Cr_2O_7 + 4H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 4H_2O + 3\dot{O}$$

$$H_2C=\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}-CH_3 + 3\dot{O} \rightarrow H-C\begin{matrix}=O\\ \diagdown OH\end{matrix} + O=C\begin{matrix}\diagup CH_3\\ \diagdown CH_3\end{matrix}$$

se obțin 46 g acid formic (un mol) și 58 g acetonă (un mol).

Interesante sînt și lecțiile recapitulative în care rezolvarea situațiilor problematice începe prin efectuarea unor probe practice, de rezultatul cărora depinde întregul mers al problemei. Li s-au dat de exemplu elevilor din anul III probe din hidrocarbura de compoziție C_6H_{12} și li s-a cerut să răspundă :

— din ce clase de hidrocarburi poate face parte (teoretic);

— din ce clasă de hidrocarburi face parte pe seama constatărilor experimentale.

Pentru a putea răspunde la această întrebare vor trebui să se gîndească la reacțiile prin care se deosebesc cicloalcanii de alchenele, din categoria cărora ar putea face parte proba dată. Li se dăduseră unor elevi probe de ciclohexan altora de hexenă, substanțe care se aseamănă mult ca aspect (lichide incolore) și în comportarea față de unii din reactivii de utilizat (decolorează apa de brom). Cele 2 substanțe se comportă însă diferențiat față de soluția de permanganat de potasiu : alchena decolorînd-o, (cu formare de diol) iar cicloalcanul fiind inert la rece (la cald se formează acid adipic). Toate acestea au putut duce pentru unii dintre elevi la concluzii greșite și deci la rezolvarea eronată a problemei în continuare.

Seria exemplelor ar putea continua. Mi-am permis să prezint cîteva din încercările personale în speranța că Dvs. îmi veți sugera lucrui și mai interesante. Oricum, concluzia este că metoda problematizării este un instrument deosebit de valoros la îndemîna dascălilor în vederea obținerii unui sistem unitar de cunoștințe, gata oricînd de a fi aplicat în situații problematice noi.

UNELE MODALITĂȚI DE PROBLEMATIZARE APLICABILE ÎN REZOLVAREA PROBLEMELOR DE FIZICĂ

Prof. *ZOLTAN VERES*, Marghita

Însușirea cunoștințelor, aplicarea cunoștințelor pentru rezolvarea problemelor noi, teoretice și practice, necesită o gîndire dezvoltată.

Prin conținutul său concret și prin varietatea metodelor și procedeelor utilizate, actul învățării trebuie să asigure într-un proces evolutiv exersarea și dezvoltarea gîndirii elevilor. După unii autori gîndirea este înainte de toate un sistem de operație logică, iar operațiunea constituie elementul activ al gîndirii. Tot aici trebuie menționat că unii autori au recunoscut faptul că sistemele educaționale nu încurajează, ci de multe ori descurajează gîndirea creatoare. Rezultatele experiențelor de lungă durată în țara noastră și din alte țări evidențiază faptul că abilitățile creative pot fi influențate și chiar învățate folosind o metodă analoagă cercetării științifice. Remarcăm imediat și deosebirea că : nu putem echivala complexul didactico-metodic cu metoda cercetării științifice. Gîndirea elevilor la un moment dat, la o clasă dată poate fi concretă, abstractă, tehnică, mobilă etc. Însușindu-și un stil de muncă specific se obține un rezultat prețios de valoare formativă dar particularitățile sus amintite pentru gîndirea elevilor, determină o limită dar și o autonomie și specificitate — care reprezintă și o diferență substanțială. Cele mai indicate metode în sensul formării acestui stil de muncă trebuie să fie proprii științei, investigației și însuși nivelul de eficiență a învățării depinde de măsura în care profesorul pune accent pe acceptarea, utilizarea și stimularea ideilor elevilor.

Specificul acestui stil de muncă, analogă cercetării științifice este caracterul problematizant. Întrebarea problemă adresată conține datele necesare pentru ca elevii, folosind procedeele gîndirii logice să găsească răspunsul implicat, dar care nu se găsește explicit formulat. Faptele, datele și legile cuprinse și cele cunoscute trebuie să declanșeze și să susțină activitatea de cunoaștere, trebuie să producă o tesiune în sistemul cunoștințelor și astfel să declanșeze mișcarea gîndirii.

În referatul de față am căutat soluționarea teoretică și practică a unor modalități, adoptarea unei învățări problematizante pe care l-am aplicat în însușirea obiectului fizică prin rezolvări de probleme de către elevi. Ne vom referi, din metodica rezolvării problemelor, la unele aspecte cum sînt problemele-întrebări, rezolvarea problemelor prin mai multe căi, rezolvarea problemelor cu date incomplete, compunerea problemelor de către elevi și vrem să scoatem în relief ce poate fi problematizat într-o problemă, adică în rezolvarea problemelor.

Rezolvarea problemelor întrebări merită o atenţie deosebită, în aceste probleme nu predomină aspectul numeric, ci interpretarea fenomenului fizic. Astfel de probleme activează gîndirea elevilor, dezvoltă spiritul de observaţie şi dă posibilitatea elevilor să interpreteze nu numai problemele date în clasă ci şi cele întîlnite de elevi în practică, în viaţa de toate zilele. Trebuie evitate însă întrebările simple la care răspunsul este o anumită parte din textul manual. Putem da cîteva exemple de probleme-întrebări :

— Ştiind că atomii tuturor lucrurilor sînt în continuă mişcare, să se explice de ce există lucruri permanente?

— Dacă căldura se datorează mişcării moleculare, ce diferenţă există între o minge de fotbal încinsă de soare şi aflată în repaus şi o minge rece care se îndreaptă rapid spre poartă?

— Daţi o explicaţie calitativă a motivului şi modului în care se produce căldura prin frecare într-o maşină în funcţiune. De ce căldura nu poate produce o mişcare utilă, printr-un proces invers?

În multe cazuri se pot da în afara interpretării, justificări prin calcule, prin întocmirea unor grafice, unor desene noi. De exemplu : cînd efectuăm un lucru mecanic mai mare dacă ducem o găleată de cărbuni la etajul II sau dacă ducem două, la etajul I? Răspunsul se justifică şi prin calcule :

$$W_1 = (G_1 + G_2)\, 2h = 2G_1h + 2G_2h$$

$$W_2 = (2G_1 + G_2)\, h = 2G_1h + G_2h$$

— Pe podeaua unui ascensor o minge sare în sus şi în jos. Cum se comportă mingea pentru un observator interior, dacă ascensorul la un moment dat începe să coboare cu acceleraţia gravitaţională. Soluţia se poate justifica şi prin construirea unui grafic.

— Să se afle rezistenţa echivalentă a montajului de mai jos :

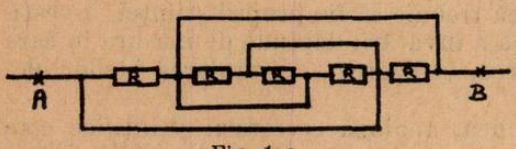


Fig. 1 a

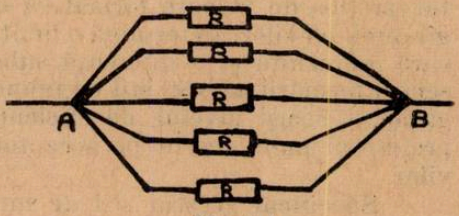


Fig. 1 b

Elevii pot să descopere şi să motiveze soluţia găsită prin întocmirea unui montaj echivalent în care apare evident felul compunerii rezistenţelor. Gradul de dificultate al activităţii intelectuale se poate spori rezolvînd întrebările probleme în care soluţia depinde de diferite valori ale unui parametru (sau mai mulţi) de exemplu :

— Argumentaţi dacă se poate economisi lucrul mecanic la o roabă reală, dacă greutatea transportată se aşează mai aproape sau mai departe de axa de rotaţie a roabei. Soluţia descoperită de elev este interesantă : dacă distanţa sus amintită este mai mare, forţele de frecare la roata roabei sînt mai mici, deci este mai mic şi lucrul mecanic pierdut la roată ; dar creşte frecarea la talpa omului care împinge roaba la fel şi lucrul mecanic necesar ridicării centrului de greutate la fiecare pas, şi astfel pierderile se măresc.

Elevii descoperă acum că scăderea sau creşterea lucrului mecanic pierdut depinde şi de natura solului, care reprezintă al doilea parametru al problemei.

Consider că prin rezolvarea unor asemenea probleme întrebări de fizică, firești şi accesibile, elevii fac primul pas de la simplu la compus, de la cadru intelectual restrîns al unei lecţii, sau al unei părţi a lecţiei spre problematica unei lecţii sau unui sistem de lecţii.

Al doilea pas în creşterea valorii problematizării la rezolvarea problemelor de fizică cred ar fi atunci cînd elevii găsesc singuri diferitele etape în rezolvarea problemelor, cînd elevii găsesc mai multe soluţii la o problemă dată. Solicitarea elevilor de a formula propriile idei sau soluţii în legătură cu problema formulată de profesori în mod adecvat, devine un exerciţiu eficient al dezvoltării gîndirii, de exemplu :

Să se afle acceleraţia sistemului şi forţele care acţionează în fire (se neglijează frecările).

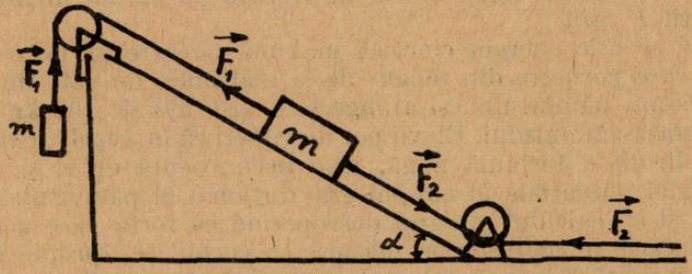


Fig. 2

Diferite soluţii posibile :

1. Elevii descoperă ca o soluţie metoda analitică folosindu-se de principiul lui D'Alambert : $mg - F_1 = m \cdot a$; $F_1 - F_2 - m.g \sin \alpha = m \cdot a$

$$F_2 = m \cdot a, \text{ de unde obţinem : } a = g \frac{1 - \sin \alpha}{3}$$

$$F_1 = m \cdot g - m \cdot a = m \cdot g \frac{2 + \sin \alpha}{3}, \; F_2 = m \cdot a = m \cdot g \frac{1 - \sin \alpha}{3}$$

II. Elevii pot descoperi prin metoda analitică o altă soluţie ; considerăm că cele trei corpuri formează un sistem :

$$a = \frac{m \cdot g - m \cdot g \cdot \sin \alpha}{3m} = g \frac{(1 - \sin \alpha)}{3}$$

$$F_1 = m(g - a); \quad F_2 = m \cdot a = m \cdot g \frac{1 - \sin \alpha}{3}$$

III. Elevii pot obţine o altă soluţie descoperind că se poate lucra şi sintetic pornind de la legea de conservare a energiei :

$$m \cdot gs = mg \sin \alpha + \frac{3mv^2}{2s}$$

$$v^2 = 2a \cdot s \text{ de unde se obţine : } a = g \frac{1 - \sin \alpha}{3}$$

Din punct de vedere al rezultatului metodei nu ne interesează atît de mult chiar numărul de idei, soluții : folosirea metodei sintetice, grafice, analitice, aritmetice etc. ; cît faptul că în acest mod elevii își însușesc, își formează un stil intelectual specific muncii creative, colective. În acest sens este foarte utilă motivarea operațiilor de către elevi, discuția și generalizarea soluțiilor.

Următoarea treaptă ar putea fi rezolvarea problemelor cu date incomplete (care pot să ceară și efectuarea unor măsurători de către elevi, pentru a afla mărimile independente) sau rezolvarea problemelor în care unele formule nu sînt cunoscute (astfel se cere și stabilirea lor de către elevi) exemple :

— Să se calculeze forța minimă necesară ridicării unui corp pe un plan înclinat cînd se dă unghiul format cu orizontala și masa corpului. Să se măsoare experimental această forță și să se motiveze diferența dintre valoarea calculată și cea măsurată. La această problemă elevii descoperă că trebuie să măsoare coeficientul de frecare pe planul înclinat, necesar determinării $F.min$.

— Să se afle energia cinetică maximă pe care ar putea să o aibă un obiect care pornește din repaus de la înălțimea de 400 km, măsurată de la suprafața pămîntului, și ajunge la o distanță de 100 km, măsurată de la suprafața pămîntului. Elevii pot descoperi că în rezolvarea problemei trebuie aplicată o formulă nouă, însă necunoscută de ei și anume formula energiei potențiale în cîmpul gravitațional al pămîntului. Ar putea să lucreze și cu calculul integral descoperind că forța care acționează în timpul mișcării se mărește pe măsură ce corpul se apropie de pămînt, fapt care necesită folosirea calculului integral pentru aflarea lucrului mecanic. Elevii pot descoperi că se poate lucra și într-un mod analog cum s-a procedat la aflarea lucrului mecanic efectuat la deplasarea unei sarcini în cîmpul electromagnetic al unei sarcini punctiforme sau sferice :

$$E_c = \Delta E_p = k\int_{h_1}^{h_2} \frac{mM}{r^2}\,dr \quad \ldots \text{ sau } E_c = \Delta E_p = kmM\,\Sigma\,\frac{r_i - r_j}{r_i r_j}$$

În aceste probleme elevii își reactualizează vechile cunoștințe, le selectează și apoi le aplică în noile condiții. Dacă aplicăm această metodă trebuie să ținem seamă de cunoștințele anterioare ale elevilor și mai ales problema să fie clar enunțată.

Pentru ca elevii să devină ei înșiși creatori trebuie stimulată și cultivată capacitatea de a-și propune și rezolva probleme. Acesta fiind gradul de activizare cel mai înalt, necesită asigurarea încrederii în sine, încurajarea efortului creativ de către profesori. Activitatea profesorului în această direcție ar putea să înceapă cu metoda euristică ; prin această metodă se explicitează elevului fenomenul fizic la care se referă problema, mărimile fizice care descriu fenomenul, legile și relațiile care pot fi folosite. Elevii descoperă singuri care dintre mărimi pot fi independente și care dependente, elevii aleg valori numerice pentru mărimile independente, în concordanță cu viața practică, elevii propun problema, rezolvă, discută și generalizează.

— Mersul discuției comune :

— Se dau 3 condensatoare cu capacitățile C_1 ; C_2 ; C_3 și tensiunile la bornele lor U_1 ; U_2 ; U_3. Condensatoarele se leagă în serie și apoi se scurtcircuitează cele două capete libere. Elevii stabilesc împreună cu pro-

fesorul că prin legarea lor în serie tensiunile condensatoarelor nu se schimbă şi spre exterior vom avea o tensiune cunoscută. La fel se poate stabili faptul că bateria de condensatoare se poate înlocui cu una echivalentă şi care manifestă spre exterior o sarcină cunoscută. Tot astfel se stabileşte împreună că la descărcarea bateriei se deplasează tot această sarcină, şi că cu atît se schimbă şi sarcina condensatoarelor. Ca temă pentru acasă elevii pot propune diferite probleme legate de această temă cum ar fi:

Se cere să se afle sarcinile condensatoarelor în urma scurtcircuitării sau tensiunile condensatoarelor în urma descărcării etc. Rezolvarea problemei se poate face pe cale sintetică fie pe cale analitică:

1. $U = U_1 + U_2 + U_3$; (calea sintetică)

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}};$$

$$Q = C \cdot U; \quad Q_1' = Q_1 - Q; \quad Q_2' = Q_2 - Q; \quad Q_3' = Q_2 - Q$$

2. Se rezolvă sistemul: (calea analitică)

$$\begin{cases} U_1' + U_2' + U_3' = 0 \\ Q_1 - Q_3 = Q_1' - Q_3' \\ Q_2 - Q_1 = Q_2' - Q_1' \\ \frac{Q_1'}{U_1'} = \frac{Q_1}{U_1} = C_1 \\ \frac{Q_2'}{U_2'} = \frac{Q_2}{U_2} = C_2 \\ \frac{Q_3'}{U_3'} = \frac{Q_3}{U_3} = C_3 \end{cases}$$

(şase ecuaţii independente)

În a doua etapă de obişnuire cu compunerea problemelor, elevilor le-ar putea fi comunicat numai fenomenul fizic. Elevii trebuie să descopere legea de dependenţă dintre mărimile care caracterizează fenomenul, aleg mărimile independente, cele dependente, rezolvă, discută şi generalizează problema. Această metodă ar putea fi aplicată consecvent şi în activitatea cercurilor de elevi.

Ajutorul dat de profesor elevilor în formularea problemelor este legitimat pedagogic, oferirea soluţiilor de a gata, nu este.

Rezolvarea unor probleme de fizică ar putea să preceadă o lecţie, sau un sistem de lecţii atunci cînd ne ajută la introducerea unor noţiuni noi sau pentru a arăta necesitatea studiului unui sistem de lecţii.

— O maşină parcurge distanţa de 96 km astfel: primii 48 km cu viteza de 32 km/h, iar ultimii 48 km cu viteza de 96 km/h. Se cere viteza medie. Se stabileşte că viteza medie nu este media aritmetică, adică 64 km/h, a celor două viteze, ci o medie ponderentă a vitezelor cu timpurile.

În urma rezolvării problemelor se descoperă necesitatea introducerii vitezei medii și a relației care dă valoarea ei :

$$v_m = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2}{t_1 + t_2} \text{ unde } t_1 = \frac{48 \text{ km}}{32 \text{ km/h}} = 1{,}5 \text{ h și } t_2 = 0{,}5 \text{ h}$$

$$v_m = \frac{32 \cdot 1{,}5 + 96 \cdot 0{,}5}{1{,}5 + 0{,}5} \text{ km/h} = 48 \text{ km/h adică}$$

$$v_m = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2}{t_1 + t_2} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2} = \frac{s}{t}$$

La introducerea în teoria relativității elevii trebuie să descopere faptul că legile fizicii clasice nu respectă legea universal acceptată în fizică că două sisteme care se mișcă uniform sînt echivalente. Se pleacă de la problema : Să se afle forța pe care o exercită un conductor cilindric uniform încărcat cu sarcini pozitive, asupra unei sarcini aflată la o distanță r de conductor, privită dintr-un sistem fix față de conductor și dintr-un sistem care se mișcă paralel cu conductorul cu viteza v. (premergător se dă $E = \frac{\rho}{2\pi r \varepsilon}$, relația anlogă cu $H = \frac{I}{2\pi r}$ în care $I \Leftrightarrow \rho$; se specifică că E depinde de substanță)

Pentru obs. fix.

Def :

$\rho = \frac{Q}{l}$

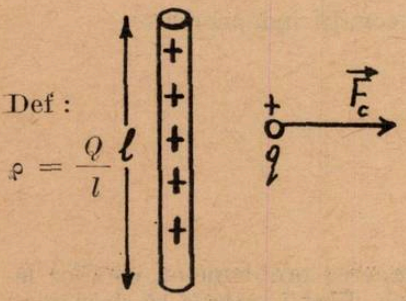
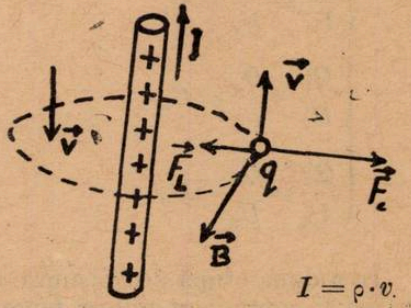


Fig. 3 a

Pentru obs. mobil :



$I = \rho \cdot v.$

Fig. 3 b

$$F_c = qE = \frac{q\rho}{2\pi r \varepsilon_0}$$

$$\vec{F} = \vec{F}_L + \vec{F}_c \; ; \; F = F_C - F_L =$$

$$= \frac{q\rho}{2\pi r \varepsilon_0} - qv\mu_0 \frac{\rho v}{2\pi r} =$$

$$= \frac{2\rho}{2\pi \varepsilon_0 r}(1 - \mu_0 \varepsilon_0 v^2) = F_C\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$$

F_L ... forța Lorentz

F_C ... forța Coulomb

În concluzie : dacă profesorul se mulțumește cu simpla reproducere a materiei, cu explicarea necesară a unor procedee de rezolvare, va favoriza stereotipia gîndirii elevilor, iar elevii nu se vor strădui să prezinte materialul studiat sub o formă originală, să caute soluții originale care să le ofere satisfacții. În rezolvarea problemelor de fizică tendința spre stereotipie și conformismul gîndirii sînt menajate uneori și de faptul că multe probleme și exerciții au o structură algoritmică sau necesită în multe cazuri aplicarea unui șir de operații prescrise dinainte și însușite în același mod.

Profesorul creînd situații problematice reale și accesibile trebuie să urmărească a face din problematizarea lecțiilor o metodă permanentă de lucru, încadrată într-un sistem de muncă didactică bine conturat, combinat judicios cu alte metode de învățămînt, pentru ca activizarea elevilor la lecții să contribuie din plin la formarea personalității umane creatoare.

LEGEA DEZINTEGRĂRII RADIOACTIVE

Prof. *LEONTINA PETRESCU*, Turnu Măgurele

Scopul acestei lecții este de a face cunoscută elevilor legea cantitativă după care au loc dezintegrările radioactive și consecințele ei. În cadrul lecției se vor introduce constantele caracteristice fenomenului de dezintegrare, se va stabili expresia matematică a legii și se va explica, cu ajutorul legii, echilibrul radioactiv. Desfășurarea lecției se poate realiza după următorul plan :

I. Elevii vor preciza ce înțeleg prin radioactivitate naturală și ce se întîmplă cu un nucleu radioactiv în urma emisei de radiații. Pe baza legii deplasării ei vor putea caracteriza transformarea spontană a nucleelor, dezintegrarea, prin următoarea ecuație :

A $\rightarrow$ **B** + **b** + **c**, unde **A** reprezintă cantitatea de nuclee de o anumită specie, **B** cantitatea de nuclee de altă specie care rezultă din dezintegrarea lui **A**, iar **b** și **c** particulele emise în urma acestor transformări.

Se cere elevilor să argumenteze faptul că radiația emisă de substanțele radioactive provine din nucleu. Argumentarea se face pe baza cunoștințelor dobîndite de elevi în lecțiile anterioare de fizică și chimie ; experiențele dovedind că nici o acțiune exterioară sau combinație chimică a elementului radioactiv nu modifică radiația emisă.

II. Pentru a convinge pe elevi că acest fenomen spontan are loc după o lege obiectivă se descrie de către profesor următoarea experiență : Într-o fiolă de sticlă se introduce 1 g de $^{226}_{88}Ra$ și apoi fiola se închide (de fapt se introduc 1,318 g clorură de radiu, care conține 1 g de radiu). Se constată acumularea de heliu și un gaz nou cu proprietăți radioactive care a fost denumit radon. Explicația formării acestor gaze stă în dezintegrarea radiului : $^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{222}_{88}Rn$

Determinîndu-se cantitățile de radon apărute la anumite perioade se constată că descreșterea numărului nucleelor de radiu are loc după o curbă de forma celei din fig. 1.

Astfel, după patru zile, în fiolă apăreau 0,311 mm^3 de Rn, după opt zile 0,463 mm^3, după 30 zile 0,607 mm^3, pentru ca după acest timp cantitatea de radon să rămînă practic neschimbată.

Elevii vor putea să tragă concluzia că numărul nucleelor de radiu scade exponențial în timp.

III. Pentru a putea deduce expresia matematică a legii ne putem baza pe noțiunile dobîndite de elevi la matematică despre probabilitate și rezolvarea unei ecuații diferențiale.

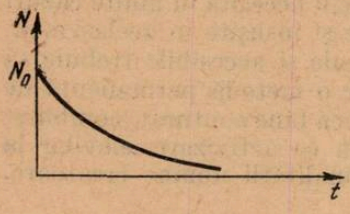


Fig. 1

Deoarece fenomenul radioactiv este spontan și nu depinde de cauze externe, se poate presupune pentru un nucleu dat, că probabilitatea de dezintegrare în unitatea de timp este constantă.

Definim constanta de dezintegrare λ ca probabilitatea de dezintegrare a unui nucleu în unitatea de timp. Se precizează unitatea. Cu ajutorul acestei noțiuni se cere elevilor să exprime matematic fracțiunea dN de nuclee dezintegrate în intervalul dt, din N nuclee, pentru o anumită specie de nuclee :

$$dN = -\lambda N\, dt \text{ (Semnul minus arată descreșterea)}$$

Rezolvarea ecuației obținute, reprezentarea grafică a soluției și interpretarea ei se realizează în mod independent de către elevi (10—15 minute) sub supravegherea profesorului.

Dăm mai jos rezolvarea ecuației.

$$dN = -\lambda N\, dt;\ \frac{dN}{N} = -\lambda\, dt;\ \int \frac{dN}{N} = -\lambda \int dt$$

integrînd obținem :

$$\ln N = -\lambda t + C \qquad (1)$$

Constanta de dezintegrare C se determină prin condițiile inițiale. Cînd $t = 0 \rightarrow N = N_0$ și $\ln N_0 = C$. Înlocuind în relația (1) obținem :

$$\ln N = -\lambda t + \ln N_0;\ \ln N - \ln N_0 = -\lambda t$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \qquad (2)$$

Reprezentînd grafic se obține curba din fig. 1. Concluziile acestei etape sînt :

a) Enunțarea legii : Numărul atomilor nedezintegrați descrește exponențial cu timpul.

b) Legea are un caracter statistic deoarece nu se cunoaște momentul dezintegrării unui anumit nucleu și este posibil să existe nuclee care să se dezintegreze foarte tîrziu.

IV. Ca măsură a vitezei de dezintegrare se ia timpul după care numărul de nuclee dintr-o specie dată scade la jumătate. Se propune elevilor să determine acest timp în funcţie de λ, în mod independent, plecînd de la faptul că la $t = T, N = \frac{N_0}{2}$.

Dăm mai jos calculul necesar:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}; \quad \frac{1}{2} = e^{-\lambda T}; \quad \ln 1 - \ln 2 = -\lambda T$$

$$-\ln 2 = -\lambda T \mid -1; \quad \ln 2 = \lambda T$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Se cere elevilor să definească viteza de dezintegrare şi să exprime această viteză în funcţie de λ.

Deoarece elevii ajung la concluzia că viteza de dezintegrare se poate calcula prin relaţia λN, se precizează că această mărime poartă numele de activitate (λ) şi se dă unitatea de măsură.

A treia constantă caracteristică este viaţa mjlocie a fiecărui nucleu; ea se calculează cu ajutorul relaţiei: $\tau = \frac{1}{\lambda}$

V) Reluînd descrierea experienţei din etapa a II-a atragem atenţia elevilor că la un moment dat, cantitatea de radon rămîne constantă. Cum se explică acest fenomen? Rezultă că se stabileşte un echilibru în momentul în care cantitatea de radon, care se formează din radiu în unitatea de timp, devine egală cu cantitatea de radon, care se dezintegrează în unitatea de timp.

Notînd cu $-\mathrm{d}N_1 = \lambda_1 N_1 \mathrm{d}t$, numărul de nuclee care se dezintegrează dintr-un element dat şi cu $-\mathrm{d}N_2 = \lambda_2 N_2\ \mathrm{d}t$ numărul nucleelor elementului care se dezintegrează în acelaşi timp (ex. Ra şi Rn) echilibrul are loc cînd:

$$\mathrm{d}N_1 = \mathrm{d}N_2 \text{ deci } \lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$$

Cu N_2 s-a notat numărul nucleelor la echilibru radioactiv;

Această relaţie este valabilă pentru valori mai mari ale lui t (echilibru secular).

În stare de echilibru radioactiv, se formează dintr-un anumit fel de nuclee, în fiecare unitate de timp, tot atîtea nuclee cîte se dezintegrează în acelaşi interval de timp. Dacă nu ar fi aşa, o anumită substanţă, ar deveni din ce în ce mai abundentă, iar alta ar dispare complet. În felul acesta se poate înţelege existenţa familiilor radioactive.

Lecţia fiind făcută cu ajutorul elevilor nu mai necesită o fixare specială.

Pentru acasă se pot da două teme care să completeze lecţia.

1) Legea cantitativă a dezintegrării se poate enunţa şi astfel: „Dacă timpul creşte în progresie aritmetică, numărul atomilor nedezintegraţi

descreşte în progresie geometrică. Justificaţi matematic această afirmaţie. *Indicaţie* : Se porneşte de la expresia matematică a legii şi se exprimă timpul sub forma $t = kr$ unde $k = 0, 1, 2 \ldots n$ şi r este raţia progresiei aritmetice.

Rezolvare

$t = kr$. Cu această condiţie legea dezintegrării se scrie : $N_k = N_0 e^{-\lambda kr}$

$N_k = N_0 e^{(-r\lambda k)}$. Notăm $e^{-\lambda k} = q$ rezultă :

$N_k = N_0 q^k$, relaţie care reprezintă termenul unui progresii geometrice cu raţia $q < 1$

Se pot alege termenii progresiei aritmetice de tipul : $\div 0$, T, $2T$ ... raţia progresiei fiind $r = T$ şi rezultă o progresie geometrică de forma :

$$N_0 ; \frac{N_0}{2} ; \frac{N_0}{4} \ldots$$

adică o progresie cu raţia $q = \frac{1}{2}$

2) Să se deducă relaţia care dă viaţa medie a unui nucleu.

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

Indicaţie : Se calculează viaţa totală şi după aceea se împarte timpul obţinut la N_0.

Rezolvare : După cum s-a văzut, numărul de nuclee care se dezintegrează în intervalul dt este $\lambda N dt$, unde λ reprezintă probabilitatea dezintegrării individuale în unitatea de timp.

Suma duratelor vieţii acestor nuclee care „trăiesc" t unităţi de timp, este $t\lambda N \, dt$, iar viaţa totală a N_0 nuclee este :

$$\int_0^\infty \lambda N_0 e^{-\lambda t} t \, dt = \lambda N_0 \int_0^\infty e^{-\lambda t} t \, dt = \frac{1}{\lambda^2} \lambda N_0$$

Deci viaţa totală a celor N_0 nuclee este : $\lambda N_0 \frac{1}{\lambda^2} = \frac{N_0}{\lambda}$,

iar viaţa mijlocie a fiecărui nucleu : $\frac{N_0/\lambda}{N_0} = \frac{1}{\lambda}$

Deci : $\tau = \frac{1}{\lambda}$

Pentru a calcula integrala se procedează astfel :

$$\int_0^\infty e^{-\lambda t} t \, dt = \lim_{t \to \infty} \int_0^t e^{-\lambda t} \cdot t \cdot dt$$

Se calculează integrala nedefinită $\int e^{-\lambda t} t\, dt$ prin părți:

$$u = t;\ dv = e^{-\lambda t}\, dt;\ du = dt;\ v = \int e^{-\lambda t}\, dt = -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t}$$

Se obține:

$$\int_0^{\infty} e^{-\lambda t} t\, dt = \lim_{t \to \infty} \left(-\frac{t}{\lambda} e^{-\lambda t} - \frac{1}{\lambda^2} e^{-\lambda t} + \frac{1}{\lambda^2} \right) = \frac{1}{\lambda^2}$$

Exercițiul acesta fiind mai dificil se poate rezolva la cercul cu elevii claselor a XII.

BIBLIOGRAFIE

— Fizică volumul II ... colectiv (*Bărbulescu — Țițeica*)
— Fizică generală ... *I. Helgiu*
— Compendiu de fizică ... colectiv
— Elemente de fizica atomică și nucleară ... *H. Lindner*
— Revista de fizică și chimie nr. 12 din 1970.

APARAT PENTRU STUDIUL COMPUNERII OSCILAȚIILOR ARMONICE

Prof. dr. *SIMA D. PETRE*, Universitatea Brașov,
ing. *COSTIN GRIGORE*,
ing. *CĂMĂRĂSCU CONSTANTIN*, Brașov.

1. Considerații generale.

Oscilațiile armonice sînt acele oscilații pentru care valoarea în timp a elongației poate fi descrisă de funcții armonice; cu alte cuvinte, variația amplitudinii este reprezentată cu ajutorul funcțiilor armonice.

În vederea evidențierii compunerii a două mișcări oscilatorii armonice, colectivul de autori a proiectat și construit aparatul din figura 1, în componența căruia intră două tije mobile, ce execută fiecare în parte, mișcări oscilatorii aromonice, în două plane rectangulare.

Compunerea mișcărilor oscilatorii armonice este materializată de către mișcarea unei culise, care constituie îmbinarea mecanică mobilă a tijelor (fig. 2). Vizualizareea pe ecran a mișcării punctului de intersecție mobil certifică compunerea oscilațiilor armonice.

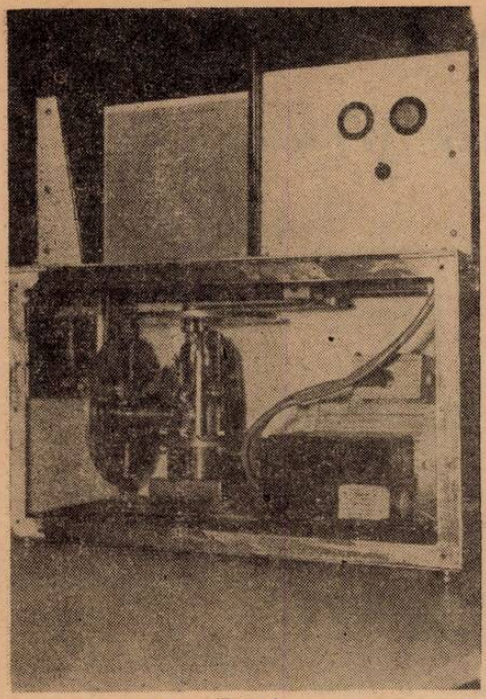


Fig. 1

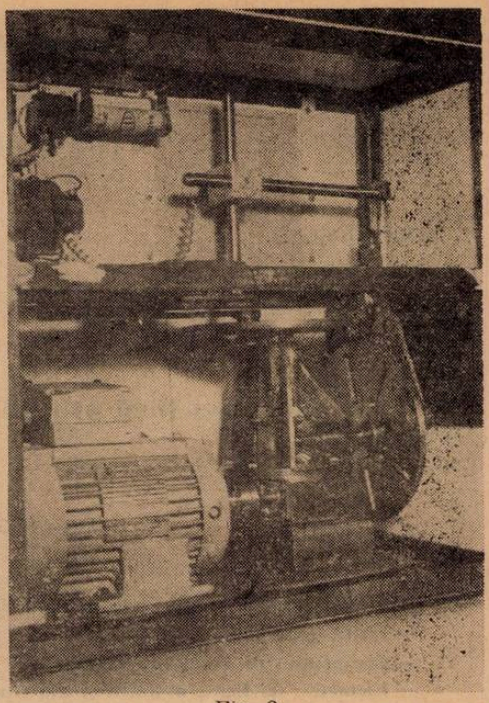


Fig. 2

2. Descrierea aparatului

Pentru explicarea construcției și funcționării aparatului, s-a elaborat schema cinematică și electrică din figura 3.

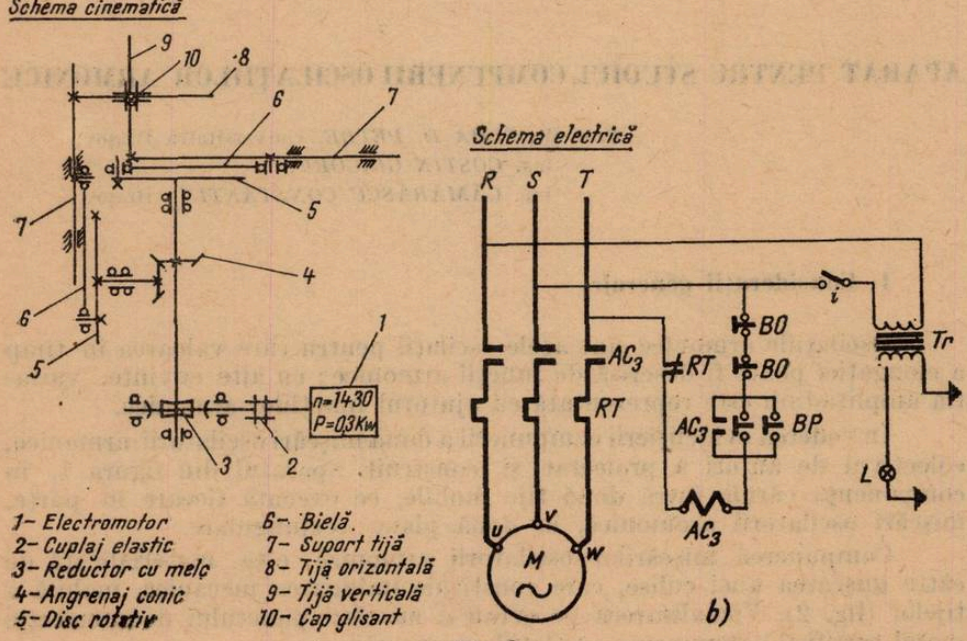


Fig. 3

Aparatul se compune dintr-o carcasă de material plastic opacă, necesară protejării aparaturii componente. Partea principală a aparatului o constituie două discuri perpendiculare **5**, care prin intermediul unui angrenaj conic **4**, un reductor melcat, **3** și un cuplaj elastic **2**, sînt antrenate de către un electromotor **1**.

Electromotorul este reprezentat de un motor de curent alternativ trifazic, cu o putere nominală $P_n = 300$W și o turație de sincronism de $n = 1430$ rot/min. El este prevăzut cu un automat de protecție DITU-tip uscat, cu caracteristicile :

$$U_n = 660 \text{ V}; \; I_n = 10 \text{ A}; \; P_n = 3 \text{ kW}; \; f = 50 \text{ Hz}.$$

Pe cele două discuri sînt practicate cîte opt degajări la 45°, în care se pot fixa bielele **6**, în diferite poziții cu o rază de acțiune cuprinsă între 40—80 mm. Bielele acționează suporții tijelor **7**, la capătul cărora sînt fixate două tije rectificate perpendiculare **8** și **9**, în ale căror punct de intersecție este amplasată o prismă glisantă **10**. Aceasta este prevăzută cu o sursă de lumină punctiformă, alimentată de la transformatorul coborîtor de tensiune, conectat la automatul DITU.

Pornirea și oprirea aparatului se realizează cu două conectoare exterioare carcasei, ce reprezintă comanda de la distanță a automatului.

În timpul funcționării, punctul luminos proiectează pe un ecran mat, divizat pe abscisă și ordonată în grade corespunzătoare amplitudinilor maxime, diferite figuri, variind între o figură circulară, eliptică diagonală sau figurile Lissajous, în funcție de poziția bielelor pe discuri. Pentru facilitarea și mărirea calității observației, ecranul s-a prevăzut cu o apărătoare absorbantă de radiații luminoase.

3. Considerații teoretice.

Pornind de la formula generală-vectorială a mișcării armonice (forma eliptică) :

$$\vec{r} = \vec{r}_0 \cdot \cos \omega t + \frac{\vec{v}_0}{\omega} \sin \omega t, \tag{1}$$

se poate considera cazul particular cînd vectorii $\vec{r}_0$ și $\vec{v}_0$ sînt coliniari. Se observă atunci că vectorul $\vec{r}$ va păstra și el tot timpul, direcția comună a vectorilor $\vec{r}_0$ și $\vec{v}_0$, adică mișcarea se va executa după o linie dreaptă. Alegînd această dreaptă drept axa absciselor, și înlocuind vectorii $\vec{r}$, $\vec{r}_0$ și $\vec{v}_0$ respectiv prin abscisa x, abscisa x_0 și viteza v_0, din formula (1) se deduce :

$$x = x_0 \cdot \cos \omega t + \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t. \tag{2}$$

Pentru simplificare se pot înlocui constantele x_0 și v_0 prin alte două constante A și φ, date de relațiile :

$$\left.\begin{aligned} x_0 &= A \cdot \cos \varphi; \\ \frac{v_0}{\omega} &= A \cdot \sin \varphi. \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Deci, pentru orice valoare a constantelor x_0 și v_0 se pot determina două mărimi reale A și φ ($A > 0$) astfel ca ele să satisfacă relațiile (3).

Formula (2) devine în acest caz:

$$x = A \cdot \cos(\omega t - \varphi), \tag{4}$$

cu proprietățile:

a) Mișcarea este periodică, avînd perioada $T = \frac{2\pi}{\omega}$, independentă de condițiile inițiale.

b) Abscisa x, care reprezintă chiar elongația mișcării nu poate depăși în valoare mărimea A (amplitudinea).

Prin urmare, pentru a obține diferite cazuri ale compunerii oscilațiilor armonice, se poate acționa asupra celor trei parametri: A — amplitudinea mișcării; ω — pulsația mișcării; φ — diferența de fază a mișcării.

În cazul aparatului prezentat, variația amplitudinilor se realizează prin modificarea excentricităților bielelor față de axele discurilor respective. Diferența de fază a celor două mișcări se poate modifica prin schimbarea poziției inițiale relative a celor două biele sau a discurilor respective care sînt prevăzute în acest scop cu șuruburi fixate în axe.

Variația pulsațiilor se obține cu ajutorul variatorului conic sau prin utilizarea electromotorului cu turație variabilă.

Se pot ivi următoarele cazuri:

a) Amplitudinile mișcărilor sînt egale între ele $A_1 = A_2 = A$. Pulsațiile mișcărilor sînt egale între ele $\omega_1 = \omega_2 = \omega$. Diferența de fază a celor două mișcări este $\varphi = 0$.

În acest caz, punctul de intersecție se mișcă pe un segment de dreaptă. Ecuațiile parametrice ale traiectoriei sînt:

$$\left.\begin{aligned} x &= A \sin \omega t; \\ y &= A \sin \omega t. \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

Rezultă ecuația traiectoriei:

$$x - y = 0. \tag{6}$$

care reprezintă o dreaptă înclinată cu 45° față de axele de coordonate trecînd prin originea sistemului de referință (prima bisectoare).

b) Amplitudinile sînt egale între ele $A_1 = A_2 = A$;
pulsațiile sînt și ele egale între ele $\omega_1 = \omega_2 = \omega$;
diferența de fază variază între 0° și 360°.

Punctul de intersecție se va deplasa pentru $\varphi = 0°$ și $\varphi = 180°$, pe un segment de dreaptă înclinat cu 45° față de cele două tije rectangulare.

Pentru $\varphi = 90°$ și $\varphi = 270°$ punctul de intersecție va descrie un cerc. Pentru toate celelalte valori intermediare ale lui φ, cuprinse între 0° și 360°, punctul de intersecție se va deplasa pe curbe eliptice avînd toate axele de simetrie înclinate la 45°. Totalitatea acestor curbe-traiectorie se înscriu într-un pătrat.

Considerînd că între fazele celor două mișcări există un decalaj φ, ecuațiile parametrice ale traiectoriei punctului de intersecție sînt:

$$\left.\begin{aligned} x &= A \sin \omega t; \\ y &= A \sin (\omega t + \varphi). \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

Prin eliminarea parametrului t, se obține ecuația :

$$x^2 + y^2 - 2xy\cos\varphi = A^2 \sin^2\varphi, \tag{8}$$

iar prin trecerea la axele carteziene **x'Oy'** rotite cu 45° față de axele **xOy**, cu ajutorul formulelor de transformare

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{x' - y'}{\sqrt{2}}; \\ y &= \frac{x' + y'}{\sqrt{2}}, \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

se obține ecuația :

$$\frac{1}{2A^2}\left(\frac{x'^2}{\cos^2\frac{\varphi}{2}} + \frac{y'^2}{\sin^2\frac{\varphi}{2}}\right) = 1. \tag{10}$$

Traiectoria punctului de intersecție este deci o elipsă avînd semiaxele :

$$\sqrt{2}\ A \cdot \cos\frac{\varphi}{2}; \qquad \sqrt{2}\ A \sin\frac{\varphi}{2}.$$

Pentru $\varphi = 90°$ sau $\varphi = 270°$, se obține ecuația unui cerc :

$$x'^2 + y'^2 = A^2. \tag{11}$$

c) Amplitudinile nu sînt egale între ele $A_1 \neq A_2$; pulsațiile sînt însă egale între ele $\omega_1 = \omega_2 = \omega$; diferența de fază φ variază între 0° și 360°. În acest caz, punctul de intersecție se deplasează pe curbe eliptice, care se înscriu într-un dreptunghi.

d) Amplitudinile sînt egale între ele $A_1 = A_2 = A$; pulsațiile nu sînt egale între ele $\omega_1 \neq \omega_2$.

În acest caz, punctul de intersecție se deplasează pe o curbă Lissajous a cărui formă depinde de valoarea raportului pulsațiilor ω_1, ω_2 și diferența de fază φ cu care încep cele două mișcări (faza inițială).

Totalitatea curbelor Lissajous care se pot obține în acest caz se înscriu într-un pătrat.

Pentru $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{2}{1}$ și $\varphi = 0°$, se obține curba din fig. 4.

Pentru $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{2}{1}$ și $\varphi = 45°$ (mișcarea oscilatorie orizontală începe după cea verticală), se obține curba din figura 5.

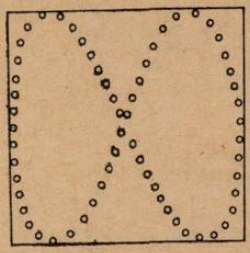


Fig. 4

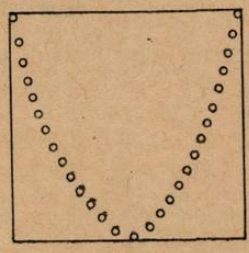


Fig. 5

Pentru $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{3}{2}$ și $\varphi = 0°$, se obține curba din figura 6.

Pentru $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{3}{2}$ și $\varphi = 30°$, rezultă curba din figura 7.

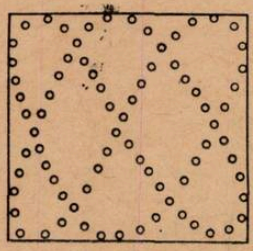


Fig. 6

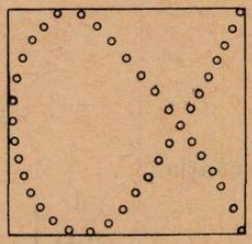


Fig. 7

e) Amplitudinile nu sînt egale între ele $A_1 \neq A_2$; pulsațiile nu sînt nici ele egale între ele $\omega_1 = \omega_2$; diferența de fază φ variază între 0° și 360°.

În acest caz, punctul de intersecție se deplasează pe curbe Lissajous, care se înscriu într-un dreptunghi.

BIBLIOGRAFIE

1. *Atanasiu M.*, Lucrări practice la cursul de mecanică teoretică. Litografia și tipografia învățămîntului, București 1957.
2. *Harton Den.* Vibrații mecanice. New York și Londra, Editura Mc Graw Hill Company, 1947.
3. *Klotter K.* Vibrații în tennică. Berlin, Editura Iulius Springer, 1951.
4. *Sima D. P.*, Culegere de probleme de mecanică tehnică. Editura didactică și pedagogică, București, 1964.
5. *Sima D. P.*, Curs de mecanică teoretică. Litografiat, 1963.
6. *Stoenescu Al., Silași Gh.*,Mecanica teoretică. Editura tehnică București 1963.
7. *Vilcovici A., Ștefan Bălan, Voinea R.*, Mecanica teoretica. Editura tehnică, București, 1963.
8. *Warburg E.*, Fizica experimentală, Tubingen, Editura I.C.B., Mohr (Paul Siebeck) 1920.
9. *Westphal W.* Fizica practică. Braunschweig, (Editura Friedrich Vieneg Sohn, 1941.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

CĂTRE COLABORATORII NOȘTRI,

Articolele, notele și orice materiale destinate publicării în Revista de Fizică și Chimie seria A trebuie să fie redactate clar și concis (maximum 10 pagini dactilografiate la două rînduri) în două exemplare, însoțite de figuri desenate separat de text, cît mai sugestive, de preferință în tuș pe calc. Fotografiile trebuiesc executate în contrast puternic alb-negru. Figurile și fotografiile trebuiesc trimise de asemenea în două exemplare.

Articolele trebuiesc semnate (dactilografiat) imediat sub titlu împreună cu titlul didactic și localitatea autorului.

Pe ultima pagină, pe ambele exemplare trebuie scrisă complet adresa autorului.

În același plic cu materialul colaboratorii noștri sînt rugați să introducă și o carte poștală cu adresa proprie (la destinatar) pentru a ne ajuta în promtitudinea răspunsului.

Materialele ne publicate nu se restituie autorilor.

Pe adresa redacției primim propunerile și sugestiile Dvs. cu privire la tematica Revistei, note critice asupra articolelor publicate pînă acum.

Dorim ca Revista de Fizică și Chimie să vă fie de un real folos în activitatea Dvs. științifică și didactică.

Pentru a veni în sprijinul cititorilor care doresc să-și procure numere mai vechi din RFC, anunțăm că se mențin în vînzare, un an de la apariție, cîteva exemplare din fiecare număr la magazinele de anticariat ale Direcției de Expediere a Presei. Dăm adresa lor:

București: Bd. Magheru nr. 18 sector I, **Cluj**: Str. Dr. Petru Groza nr. 32, **Iași**: Piața Unirii nr. 7, **Timișoara**: Str. 9 Mai nr. 3.

Pentru a vă asigura cu regularitate revista, și a avea completă colecția, abonați-vă pe o perioadă mai îndelungată.

Costul unui abonament anual lei 36.

Costul unui abonament pe 6 luni lei 18.

Comitetul de Redacție

I.P. „Informația" c. 1068

Index 43459

Lei 3

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL IX

4

APRILIE 1972
RFCABV 9(4) 121 – 160 (1972)

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI – 46 TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag.

Prof. Dr. Doc. *I. Ursu*

1. Principiile rezonanței paramagnetice electronice 121

Cercet. *D. Demco*

2. Fenomenul de relaxare electronică paramagnetică în solide. 133

Dr. Ing. *E. Burzo*

3. Considerații privind studiul prin rezonanță paramagnetică electronică a ionilor în metale. 142

Dr. *Barb Dănilă*

4. Efectul Mössbauer și aplicațiile sale 151

Număr realizat de Institutul de Fizică Atomică București

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, conf. univ.; **Teodor Bohățiel,** lector univ. **Simion Bulgărea.** prof. **Maria Codreanu,** prof. ;**Andra Körner,** redactor; **Nicolae Martalogu,** conf. univ. **Eleonora Mihul,** cercetător; **Ion C. Moisil,** conf. univ. ; **Alice Negoescu,** prof. **Ion C. Petrea,** conf. univ; **Victor Sahini,** prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru,** prof.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

Seria A

Anul IX Nr. 4 aprilie 1972

PRINCIPIILE REZONANŢEI PARAMAGNETICE ELECTRONICE

Prof. Dr. Doc. I. URSU,
Preşedintele C.S.E.N, Directorul I.F.A.

1 Introducere

Rezonanţa paramagnetică a dobîndit în ultimii ani un loc însemnat în cadrul metodelor de investigare în fizică, chimie, biologie, agricultură, medicină şi în cadrul proceselor de control în industrie. Sfera largă a metodelor de rezonanţă paramagnetică a permis în ultimul timp obţinerea de informaţii preţioase legate de proprietăţile materialelor nucleare, şi, în special, a studierii defectelor de iradiere formate în aceste materiale. Împreună cu informaţiile obţinute prin alte metode, aceasta va permite realizarea de materiale nucleare cu caracteristici superioare, obiectiv major al Programului Nuclear Naţional, cuprins în directivele Congresului al X-lea al Partidului Comunist Român.

În ţara noastră, metodele de rezonanţă parmagnetică s-au dezvoltat vertiginos în ultimii zece ani. Rezultatele valoroase obţinute de şcoala românească de rezonanţă, au fost cofirmate şi prin organizarea în Republica Socialistă România a celui de-al XVI-lea Congres al Asociaţiei Internaţionale A.M.P.E.R.E., desfăşurat sub înaltul patronaj al Preşedintelui Consiliului de Stat al Republicii Socialiste România, tovarăşul Nicolae Ceauşescu.

Importante comunicări au fost făcute de către cercetătorii români atît în cadrul acestui Congres, cît şi al şcolii de „Rezonanţă Magnetică şi Fenomene Asociate" — Mangalia Nord (1969), precum şi la alte congrese şi conferinţe internaţionale, relativ la aspectele teoretice şi practice legate de metodologia rezonanţei paramagnetice.

Spectroscopia de rezonanţă magnetică constituie un instrument modern de studiu al materiei, indiferent de forma sa de agregare. Această metodă permite investigarea proprietăţilor microscopice ale sistemelor atomice sau moleculare ce posedă momente magnetice. Momentele magnetice ale sistemelor studiate se pot datora dipolilor magnetici electronici sau nucleari şi momentelor magnetice produse de mişcarea orbitală a electronilor. Corpurile ce posedă astfel de momente magnetice permanente ce interacţionează slab între ele se numesc paramagnetice.

Sistemul magnetic se află în rezonanţă atunci cînd interacţionează cu o radiaţie electromagnetică avînd o frecvenţă apropiată de frecvenţa „naturală" a ansamblului atomic sau molecular. Din cauza analogiei cu spectroscopia optică şi deoarece frecvenţele de rezonanţă magnetică sînt plasate în regiunea de radiofrecvenţă (pentru spinii nucleari) sau de micro-

unde (pentru spinii electronici), pentru desemnarea spectroscopiei de rezonanță paramagnetică electronică sau nucleară, se mai utilizează termenul de spectroscopie de microunde sau respectiv de radiofrecvență.

Comparativ cu alte ramuri ale spectroscopiei în domeniul electromagnetic, de exemplu spectroscopia optică în vizibil, ultraviolet sau infraroșu, spectroscopia de rezonanță paramagnetică electronică este relativ tînără. În 1944, Zavoiski realizează la Kazan prima experiență de absorbție de rezonanță electronică de spin (prescurtat RES) a undelor electromagnetice în soluții lichide ale unor săruri de mangan [1]. Pe același tip de substanțe, dar la frecvențe mult mai mari, în 1946 au fost efectuate măsurători RES de către Cummerow și Halliday [2]. Un pas important în cercetările RES a fost făcut de către cercetătorii grupului de la Oxford. Rezultatele studiului lor sînt cuprinse în cele două lucrări de sinteză ale lui Bleaney și Stevens [3] și Bowers și Owen [4]. Posibilitățile de aplicare practică a metodei RES, în studiul radicalilor liberi, al metalelor, semiconductorilor etc., au crescut pe măsura dezvoltării tehnicii experimentale în domeniul microundelor și a temperaturilor joase. Datorită acestui fapt, spectroscopia RES este aplicată în prezent în cele mai variate domenii de cercetare de laborator, în fizică, chimie, agricultură, biologie și chiar în industrie și medicină, ajutînd împreună cu alte metode la rezolvarea unor probleme de cea mai mare însemnătate teoretică și practică. Trebuie să subliniem de asemenea că studiile de rezonanță paramagnetică electronică au constituit punctul de plecare al electronicii cuantice și al realizării materialelor active maser și laser. O trecere în revistă a principiilor și aplicațiilor spectroscopiei de rezonanță electronică de spin se află în lucrările [5—8].

Poziția benzilor de absorbție RES comparativ cu domeniul energetic al altor tipuri de spectroscopii este prezentată în fig. 1, ceea ce ajută la analizarea unor avantaje ale spectroscopiei de rezonanță electronică de spin.

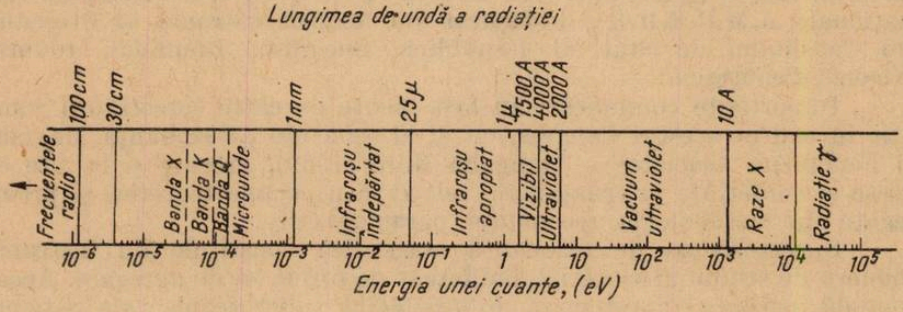


Fig. 1

În general, cu cît metoda spectroscopică utilizează fotoni de energie mai înaltă, ea este mai sensibilă. Evident, utilizarea unei astfel de metode este determinată în primul rînd de structura de nivele energetice a sistemului considerat. În acest sens, spectroscopia RES este mai puțin sensibilă ca cea optică sau Mössbauer, dar mult mai sensibilă ca cea de radio-frecvență. Spre deosebire de toate celelalte metode spectroscopice, ea este deosebit de selectivă în detectarea electronilor neîmperechiați. Cînd sîntem interesați în obținerea de informații relativ la vecină-

tatea centrului absorbant de energie, spectroscopia ce utilizează fotoni de joasă energie este cea mai avantajoasă, datorită sensibilității la valori mici ale perturbațiilor vecinătății absorbantului. Din acest punct de vedere, spectroscopia RES, cea de radio-frecvență și infraroșu, sînt ideale.

Spectroscopia de rezonanță paramagnetică electronică are o serie de caracteristici proprii ce o deosebesc de celelalte tipuri de metode spectroscopice utilizate în investigarea proprietăților materiei, printre care subliniem următoarele :

— tranzițiile de rezonanță sînt tranziții de dipol magnetic între nivelele energetice a căror degenerare este ridicată de un cîmp magnetic static și nu tranziții de dipol electric ca în spectroscopia optică ;

— radiația de microunde este monocromatică și coerentă, erorile de frecvență fiind mai mici ca lărgimea liniei de rezonanță. Caracterul coerent rezultă din relația de nedeterminare $\Delta n \, \Delta\varphi \sim 1$, între faza φ a undei electromagnetice și numărul de fotoni n, care din cauza energiei mici a cuantei este foarte mare. Deci $\Delta\varphi$ tinde către zero, ceea ce permite tratarea clasică a cîmpului de microunde

— conform teoriei radiației lui Dirac, în prezența unui număr mare de fotoni, probabilitatea emisiei sau absorbției induse este mult mai mare ca a celei spontane. Neglijarea emisiei spontane și caracterul clasic al descrierii cîmpului de radiație ce interacționează cu substanța, constituie avantaje mari în analiza fenomenului RES.

În cadrul rezonanței paramegnetice electronice există mai multe metode de investigare ce diferă după modul de excitare sau de detectare a rezonanței și anume :

— metoda standard RES în care absorbția de energie de la cîmpul de microunde se produce în urma tranzițiilor între nivelele energetice ale sistemului electronic determinate de cîmpurile electrice și magnetice interne și un cîmp magnetic exterior static ;

— metode de dublă rezonanță electrono-nucleară (ENDOR), electronică-electronică (ELDOR) și electrono-optică (OPRES). Caracteristica principală a acestor metode constă în excitarea simultană a frecvențelor de rezonanță corespunzătoare despicării energetice ale celor două sisteme electronice și/sau nucleare care se află în interacțiune. În cazul metodei OPRES tranzițiile în sistemul electronic sînt detectate prin modificarea intensității sau polarizării luminii de fluorescență. Aceste metode permit mărirea sensibilității și a rezoluției spectrelor detectate ;

— metode de rezonanță triple optice-electronice-nucleare (OPENDOR) în care tranzițiile induse în sistemul de nivele energetice electrono-nucleare sînt detectate prin investigarea tranzițiilor între stările excitate și fundamentale ale sistemului electronic. Sensibilitatea acestei metode atinge valori remarcabile de ordinul 10^5 spini/G.

2. Interacțiunea rezonantă a radiației cu sistemul de spini

Rezonanța electronică de spin constă în general, în absorbția de energie de la cîmpul radiației de microunde avînd frecvența de rezonanță, în urma tranzițiilor spinului electronic între subnivelele Zeeman. Configurația fizică necesară efectului constă în plasarea momentului magnetic (pentru simplitate vom considera un electron cu spinul 1/2) într-un cîmp static intens H_0, în jurul căruia va precesa cu frecvența Larmor $\omega_L \; \gamma H_0$, unde γ este factorul giromagnetic, și iradierea simultană cu un

cîmp magnetic variabil în timp, avînd frecvenţa ω apropiată de frecvenţa naturală a sistemului ω_L. După cum se observă din fig. 2, condiţia de rezonanţă corespunde unei legi de conservare a energiei, adică egalităţii între cuanta cîmpului de excitare $h\nu$ şi distanţa energetică dintre nivelele Zeeman, $\gamma \hbar H_0$. Tranziţiile de absorbţie sau de emisie conduc la o modificare în numărul cuantic magnetic al spinului electronic, potrivit regulii de selecţie pentru tranziţiile de dipol magnetic, $\Delta M_s = \pm 1$.

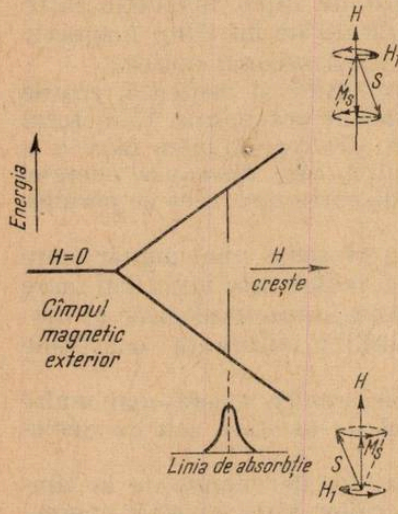


Fig. 2

Pentru ca probabilitatea de tranziţie să fie maximă, trebuie ca direcţia H_1 a cîmpului de excitare să fie perpendiculară pe H_0 şi ca sensul de rotaţie a lui H_1 să fie acelaşi cu cel al precesiei Larmor [5].

Interacţiunea rezonantă a radiaţiei cu sistemul de spini poate fi tratată clasic pe baza modelului vectorial sau al ecuaţiilor fenomenologice Bloch, sau riguros cuantic utilizînd ecuaţia lui Schrödinger pentru funcţia de undă a electronului individual sau ecuaţia lui Liouville — Von Neuman pentru matricea de densitate în cazul unui ansamblu de spini în interacţiune [5], [9].

Dacă $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$ sînt versorii sistemului de laborator, atunci cîmpul magnetic ce acţionează asupra momentului magnetic individual plasat în configuraţia de rezonanţă este :

$$\vec{H}(t) = \vec{i} H_1 \cos \omega t + \vec{j} H_1 \sin \omega t + \vec{k} H_0 \tag{1}$$

Funcţia de undă a momentului magnetic individual $\vec{\mu}$ satisface ecuaţia Schrödinger :

$$-\frac{\hbar}{i}\frac{\partial \psi}{\partial t} = \mathbf{H}\,\psi = -\vec{\mu}\cdot\vec{H}(t)\psi = -\gamma\hbar[H_0 I_z + H_1 e^{-i\omega t I_z} \mathrm{I}_x e^{i\omega t I_z}\psi] \tag{2}$$

Să transcriem ecuaţia (2) în reprezentarea care corespunde sistemului rotitor faţă de sistemul de laborator cu frecvenţa unghiulară ω, determinată de trasformarea :

$$\psi = e^{i\omega t I_z}\psi' = \mathbf{U}\,\psi' \tag{3}$$

$$\mathbf{H}' = \mathbf{U}^{-1}\mathbf{H}\,\mathbf{U} - i\,\mathbf{U}^{-1}\dot{\mathbf{U}} \tag{4}$$

unde ultimul termen din membrul drept al ecuaţiei (4) reprezintă echivalentul cuantic al forţei Coriolis ce apare la rotaţia relativă a două sisteme de coordonate.

După aplicarea lui (3) şi (4) ecuaţiei (2), obţinem :

$$-\frac{\hbar}{i}\frac{\partial \psi'}{\partial t} = -[\hbar(-\omega + \gamma H_0)I_z + \gamma\hbar H_1 I_x]\psi' \tag{5}$$

care poate fi interpretată ca un cuplaj al spinilor cu un cîmp magnetic efectiv independent de timp:

$$\vec{H}_{ef} = \vec{i}\, H_1 + \vec{k}\left(H_0 - \frac{\omega}{\gamma}\right) \tag{6}$$

Momentul magnetic va fi cuantificat în sistemul de coordonate rotitor de-a lungul lui $\vec{H}_{ef}$, iar distanţa între nivelele Zeeman va fi dată de $\gamma\hbar H_{ef}$. Condiţia de rezonanţă corespunde valorii celei mai mici a cîmpului efectiv, adică pentru $\omega = \gamma H_0 = \omega_L$, cînd avem $H_{ef} = H_1$.

Soluţia ecuaţiei (5) se poate scrie imediat, de unde obţinem la rezonanţă:

$$\psi(t) = e^{i\omega_L I_z} e^{i\gamma H_1 I_x t} \psi(0) \tag{7}$$

Valoarea medie a componentei z a operatorului momentului magnetic se obţine din:

$$<\mu_z(t)> = \int \psi^*(t)\mu_z\psi(t)\,dt = -<\mu_y(0)>\sin\gamma H_1 t + <\mu_y(0)>\cos\gamma H_1 t \tag{8}$$

Dacă la $t = 0$ avem $<\mu_y(0)> = 0$, atunci rezultă că valoarea medie a magnetizării μ_z, ce are un caracter clasic, oscilează între valorile $+<\mu_z(0)>$ şi $-<\mu_z(0)>$ în jurul lui H_1 în sistemul rotitor, după cum este arătat în fig. 3

Din cauza cuantificării spaţiale, spinul electronic efectuează tranziţii indefinit de multe cu aceeaşi probabilitate conform teoriei lui Einstein, între stările cu $M_s = \pm 1/2$.

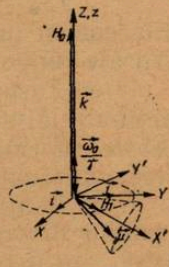


Fig. 3

Fenomenul de rezonanţă are loc în realitate pentru o colectivitate de momente magnetice aflate în interacţiune reciprocă şi cu celelalte grade de libertate ale substanţei, numite reţea. Din cauza interacţiunii cu reţeaua apar două efecte importante: primul corespunde la o distribuţie Maxwell-Boltzman a spinilor pe cele două nivele Zeeman, iar al doilea efect, de relaxare, constă în introducerea de către reţea a tranziţiior între stările $+1/2$ şi $-1/2$, unde probabilitatea $W_r(+\frac{1}{2} \rightarrow -\frac{1}{2})$ este mai mare ca probabilitatea $W_r(-\frac{1}{2} \rightarrow +\frac{1}{2})$. Din cauza primului efect numărul de spini ce efectuează tranziţia $-1/2 \rightarrow +1/2$ este mai mare ca al acelora ce efectuează tranziţia inversă şi deci sistemul de spini absoarbe energia de la radiaţia cu care interacţionează, fenomen ce este detectat în spectrometrele RES. Fenomenul de relaxare se opune aestui proces, iar energie aborbită corespunde în realitate unui echilibru dinamic între interacţiunea sistemului de spini cu radiaţia şi cu reţeaua.

3. Parametri şi informaţiile ce se pot obţine din spectrele de rezonanţă paramagnetică electronică

Sistemul de nivele energetice între care au loc tranziţiile de rezonanţă poate fi mult mai complicat decît cel din fig. 2 şi el depinde de natura momentelor magnetice şi de interacţiunile dintre ele şi cu vecinătatea. Dependenţa energiei absorbite de la cîmpul de radiaţie, faţă de intensitatea cîmpului magnetic H_0, la o valoare constantă a frecvenţei cîmpului

perturbator, determină spectrul de rezonanţă al centrilor pramagnetici (atomi, ioni, molecule, electroni liberi) purtători de momente magnetice. Spectrele de rezonanţă paramagnetică sînt caracterizate prin următorii parametri :

a) Factorul g sau factorul de despicare spectroscopică ce se determină din condiţia de rezonanţă $h\nu = g\,\beta\,H_0 = \gamma\hbar H_0$, care furnizează informaţii relativ la contribuţia de spin sau orbitală, la momentul magnetic total, deci relativ la gradul de localizare al electronilor neîmperechiaţi. Deoarece, în general, factorul g are un caracter tensorial, depinzînd de orientarea cristalului faţă de cîmpul H_0, el conţine informaţii relativ la simetria cîmpului local care acţionează asupra electronului neîmperecheat.

b) Intensitatea integrală a spectrului de rezonanţă sau mărimea absorbţiei, ce reprezintă aria etalonată sau absolută de sub curba de absorbţie, ne permite să determinăm numărul de centri paramagnetici din proba studiată. Lucrul acesta conferă posibilitatea efectuării de studii de cinetică relativ la crearea sau transformarea centrilor paramagnetici.

c) Studiul dependenţei amplitudinilor liniilor de absorbţie în spectrul de rezonanţă, funcţie de intensitatea cîmpului perturbator, ne permite determinarea probabilităţilor de tranziţie corespunzătoare diferitelor nivele energetice şi deci a tipurilor şi intensităţilor relative ale interacţiunilor centrului paramagnetic cu reţeaua.

d) Momentele spectrului de rezonanţă sînt reprezentate de integrale de tipul $\int_{-\infty}^{+\infty} f(\omega)\,(\omega-\omega_0)^n d\omega$, unde $f(\omega)$ este funcţia de formă a spectrului. Ele conţin importante informaţii structurale legate de tipurile de simetrii ale reţelei şi de distanţele dintre centri paramagnetici.

e) Forma liniei de rezonanţă este determinată în principal de interacţiunile dintre centri paramagnetici şi cu reţeaua. Studiul acesteia va releva informaţii relativ la aglomerarea centrilor paramagnetici şi la defectele punctuale sau liniare ale reţelei.

f) Lărgimea liniei de rezonanţă depinde de intensitatea interacţiunilor dintre centri paramagnetici şi de timpul de relaxare spin-reţea. Deci, din dependenţa acestei mărimi faţă de intensitatea cîmpului magnetic static, tempertură şi orientarea cristalului, putem obţine informaţii detaliate relativ la aceste interacţiuni.

g) Numărul de linii rezolvate din spectru şi raportul intensităţilor lor, ne dau informaţii relativ la interacţiunile fine şi hiperfine. Putem determina astfel structura de nivele energetice a centrului paramagnetic şi tipul de nuclee atomice ce se află în imediata apropiere a centrului.

h) Distanţele dintre liniile spectrelor cu structură hiperfină ne furnizează informaţii relativ la localizarea electronului la diferitele grupuri de nuclei vecini.

Deci, prin studierea dependenţei parametilor spectrelor RES funcţie de temperatură, presiune, atmosfera de gaz în care se află proba, în funcţie de iradierea la care este supusă aceasta sau în timpul diferitelor reacţii chimice, putem obţine informaţii statice şi dinamice asupra proceselor ce au loc în substanţa studiată.

Toate aceste informaţii sînt obţinute prin studierea tranziţiilor între nivelele fundamentale ale centrului paramagnetic care sînt cele mai populate. În ultimul an metoda OPRES permite obţinerea de informaţii suplimentare prin studierea spectrelor RES şi a primei stări excitate.

4. Tipurile de interacțiuni care apar în cadrul fenomenului de rezonanță paramagnetică electronică

Interpretarea corectă a spectrelor de rezonanță paramagnetică necesită în primul rînd o analiză detaliată a interacțiunilor centrilor paramagnetici responsabili pentru aceste spectre, precum și evaluarea intensității relative ale acestor interacțiuni. În majoritatea materialelor studiate prin metoda RES, electronii cu spini neîmperecheați aparțin unor atomi, ioni sau molecule care sînt înconjurați de alți atomi, molecule sau ioni, fără proprietăți magnetice.

Starea energetică a unui centru paramagnetic, de exemplu un ion introdus într-o matrice diamagnetică, este descrisă cuantic prin hamiltonianul sistemului ce are forma :

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}^\circ + \mathbf{H}_{cr} + \mathbf{H}_{s-o} + \mathbf{H}_{s-s} + \mathbf{H}_z + \mathbf{H}_{hf} + \mathbf{H}_Q + \mathbf{H}_n + \mathbf{H}_D \qquad (9)$$

Termenul $\mathbf{H}^\circ$ reprezintă energia ionului liber, de origine coulombiană, care nu depinde de spin :

$$\mathbf{H}^\circ = \sum_{k=1}^{n}\left(\frac{\vec{p}_k^2}{2m} - \frac{Ze^2}{r_k}\right) + \sum_{i>j}^{n}\frac{e^2}{r_{ij}} \qquad (10)$$

unde $\vec{p}_k$ este impulsul electronului $\vec{r}_k$ este raza vectoare a electronului față de nucleu $\vec{r}_{ij}$ este raza vectoare a electronilor i și j, iar Z este numărul atomic al nucleului ionului. Primul termen din expresia lui $\mathbf{H}^\circ$ reprezintă energia cinetică a electronilor, al doilea, interacțiunea electrostatică dintre nucleu și electron, iar ultimul interacțiunea electrostatică între diferiții electroni din ionul respectiv.

Interacțiunea ionului cu cîmpul electrostatic produs de sarcinile electrice sau dipolii electrici plasați în nodurile rețelei este cuprinsă în termenul $\mathbf{H}_{cr}$. Cîmpul electrostatic cristalin are aceeași simetrie ca și vecinătatea ionului paramagnetic și conduce la ridicarea degenerării orbitale lăsînd însă fiecare nivel spinorial dublu degenerat (degenerarea Kramers).

Termenul $\mathbf{H}_{s-o}$ reprezintă interacțiunea spin-obită, care în cazul cuplajului Russel-Saunders, are forma :

$$\mathbf{H}_{s-o} = \lambda \vec{\mathbf{L}} \cdot \vec{\mathbf{S}} \qquad (11)$$

unde $\vec{\mathbf{L}}$ și $\vec{\mathbf{S}}$ sînt respectiv, operatorul momentului cinetic total și operatorul spinului total al păturilor electronice.

Termenul $\mathbf{H}_{s-s}$ reprezintă interacțiunea spin-spin și cuprinde doi termeni distincți :

$$\mathbf{H}_{s-s} = \sum_{j,k}\left[\frac{\vec{s}_k \cdot \vec{s}_j}{r_{jk}^3} - \frac{3\,(\vec{r}_{jk}\cdot\vec{s}_j)\,(\vec{r}_{jk}\cdot\vec{s}_k)}{r_{kj}^5}\right] - \sum_{i,j} J_{ij}\vec{s}_i \cdot \vec{s}_j \qquad (12)$$

primul avînd caracter tensorial ce corespunde interacțiunii dipol-dipol, iar ultimul un caracter scalar ce corespunde interacțiunii de schimb. Interacțiunea de schimb este de natură electrostatică și are loc datorită acoperirii funcțiilor de undă orbitale ale celor doi electroni.

Termenul Zeeman $\mathbf{H}_z$ descrie interacțiunea ionului cu cîmpul magnetic static $\vec{H}$:

$$\mathbf{H}_z = \beta \vec{H} \cdot (\vec{L} + 2\vec{S}) \tag{13}$$

Interacțiunea hiperfină se compune din doi termeni:

$$\mathbf{H}_{hf} = \mathbf{H}^a_{hf} + \mathbf{H}^c_{hf} \tag{14}$$

unde

$$\mathbf{H}^a_{hf} = 2\gamma\beta\beta_N \sum_k \left[\frac{(\vec{l}_k - \vec{s}_k)\vec{I}}{r_k^3} + 3\,\frac{(\vec{r}_k \cdot \vec{s}_k)(\vec{r}_k \cdot \vec{I})}{r_k^5} \right] \tag{15}$$

și

$$\mathbf{H}^c_{hf} = \frac{16\pi}{3}\gamma\beta\beta_N\,\delta(\vec{r}_k)(\vec{s}_k \cdot \vec{I}) \tag{16}$$

unde β și β_N sînt magnetonii Bohr, electronici și nucleari. Interacțiunea dipol-dipol între momentele magnetice ale electronilor și momentul magnetic al nucleului, numită interacțiunea hiperfină anizotropă, este reprezentată de termenul $\mathbf{H}^a_{hf}$. Termenul $\mathbf{H}^c_{hf}$ reprezintă interacțiunea de contact Fermi a electronilor cu spinul nuclear și are un caracter izotrop.

Termenul $\mathbf{H}_Q$ reprezintă interacțiunea electrostatică a gradientului de cîmp electric q al nucleului, provocat de păturile electrice sau de ionii din rețea, cu momentul cuadrupolar al nucleului Q:

$$\mathbf{H}_Q = \frac{e^2qQ}{2I(2I-1)} \sum_k \left[\frac{I(I+1)}{r_k^3} - \frac{3(\vec{r}_k \cdot \vec{I})^2}{r_k^5} \right] \tag{17}$$

unde I este spinul nuclear.

Energia Zeeman nucleară corespunzătoare interacțiunii spinului nuclear cu cîmpul static are forma:

$$\mathbf{H}_n = \gamma_n \hbar \vec{I} \cdot \vec{H} \tag{18}$$

unde γ_n este factorul giromagnetic nuclear. Ultimul termen, $\mathbf{H}_D$ descrie proprietățile diamagnetice ale ionului:

$$\mathbf{H}_D = \frac{e^2}{8mc^2} \sum_k (\vec{H} \times \vec{r}_k)^2 \tag{19}$$

Este important să cunoaștem ordinul de mărime al acestor interacțiuni pentru a obține prin utilizarea teoriei perturbațiilor nivelele energetice ale ionului în matricea diamagnetică. În unități-energetice (cm^{-1}), acestea sînt:

H_0	H_{cr}	H_{s-o}	H_{s-s}	H_z	H_{hf}	H_Q	H_n	H_D
10^5	10^5-10	10^2-10^3	1	1	$10^{-1}-10^{-3}$	10^{-3}	10^{-4}	10^{-4} (cm^{-1})

Deoarece contribuția la valoarea despicărilor nivelelor energetice ale ionilor variază pe un domeniu de nouă ordine de mărime, evident

multe din ele cad în afara cuantei de excitare utilizată în spectroscopia de microunde ce este numai de 10 cm^{-1}. Evident, termenii $\mathbf{H}^\circ$, $\mathbf{H}_{cr}$, $\mathbf{H}_{s-o}$ și $\mathbf{H}_Q$, $\mathbf{H}_n$, $\mathbf{H}_D$ conduc la despicări prea mari sau prea mici și ca atare spectroscopia RES studiază tranzițiile între nivelele determinate de $\mathbf{H}_z$, $\mathbf{H}_{s-s}$ și $\mathbf{H}_{hf}$.

Deoarece, toate interacțiunile (cu excepția uneori a cîmpului cristalin) sînt cel puțin cu un ordin de mărime mai mici decît termenul corespunzător energiei ionului liber, funcțiile de undă și valorile proprii ale ener-

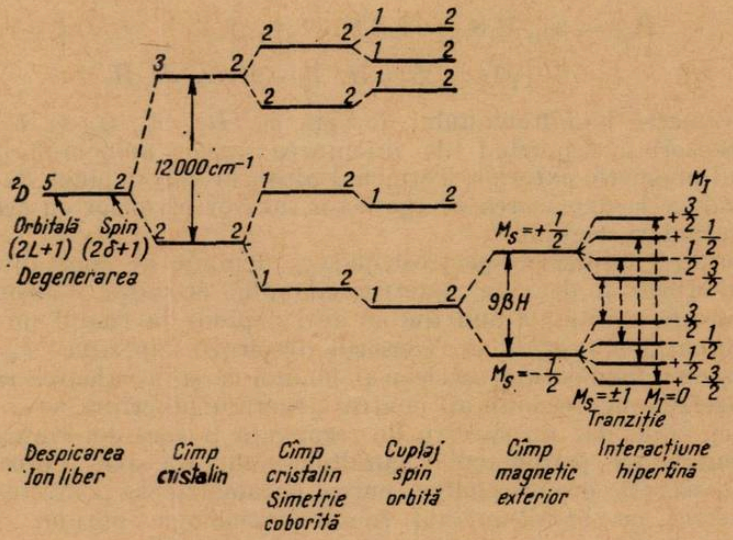


Fig. 4

giei corespunzătoare hamiltonianului $\mathbf{H}^\circ$ pot fi considerate ca aproximații de ordinul zero în teoria perturbațiilor. Un exemplu de schemă a nivelelor energetice obținută pentru termenul ^2D al ionului Cu^{2+} prin acțiunea perturbațiilor descrise mai sus, este prezentată în fig. 4.

5. Hamiltonianul de spin

Expresia (9) a hamiltonianului ionului paramagnetic introdus într-o matrice diamagnetică este prea complicată pentru a putea fi utilizată la interpretarea spectrelor de rezonanță. Abragam și Pryce [10] au propus o metodă semi-fenomenologică de interpretare a spectrelor RES bazată pe un hamiltonian ce depinde de coordonatele de spin.

După cum se vede din expresia (10), hamiltonianul neperturbat al ionului nu depinde de variabila de spin, ci numai de coordonatele spațiale. Energia perturbată corespunzătoare celorlalți termeni din hamiltonian se calculează utilizînd funcții de undă ce depind numai de coordonatele spațiale. În felul acesta obținem pentru energia de perturbare o expresie care depinde de coordonatele de spin și care acționează numai asupra stărilor spinoriale, determinînd nivelele între care au loc tranzițiile RES.

Considerînd starea fundamentală a ionului ca fiind un singlet orbital şi aplicînd teoria perturbaţiilor independente de timp în ordinul doi, obţinem :

$$\mathbf{W}^{(1)} = < 0 \mid \mathbf{H}' \mid 0 > \tag{20}$$

$$\mathbf{W}^{(2)} = \sum_{n \neq 0} \frac{< 0 | \mathbf{H}' | n > < n | \mathbf{H}' | 0 >}{E_0 - E_n} \tag{21}$$

unde $\mathbf{H} = \mathbf{H}^{\circ} + \mathbf{H}'$ este dat de (9). Deci, energia $\mathbf{W} = \mathbf{W}^{(1)} + \mathbf{W}^{(2)}$, ce reprezintă tocmai hamiltonianul de spin, are forma :

$$\mathbf{H}_{sp} = \beta g_{ij} H_i S_i + D_{ij} S_i S_j + A_{ij} S_i I_j + Q_{ij} I_i I_j - \tag{22}$$
$$- (\gamma \beta_N + R_{ij}) H_i I_j - \beta^2 \Lambda_{ij} H_i H_j$$

Parametri hamiltonianului de spin g_{ij}, D_{ij}, A_{ij} Q_{ij} şi R_{ij} au caracter tensorial depinzînd de orientarea axelor monocristalului faţă de cîmpul magnetic exterior. Termenul ultim în (22) depinde de spin şi ca atare conduce la deplasarea energetică a tuturor nivelelor cu aceeaşi cantitate, putînd fi neglijat.

Factorul despicării spectroscopice g_{ij}, depinde de constanta de cuplaj spin orbită şi deci de simetria cîmpului cristalin. Parametrul D_{ij} este o măsură a interacţiunii fine şi deci depinde la rîndul lui de simetria şi orientarea cristalului. Tensorul despicării hiperfine A_{ij} conduce la cunoaşterea momentului nuclear al ionului ca şi la valoarea razei efective a electronului responsabil pentru structura hiperfină, etc.

Deci, fiind dat un spectru de rezonanţă putem determina valorile experimentale ale parametrilor hamiltonianului de spin. Corectitudinea modelului teoretic propus pentru centrul parametric se poate testa calculînd spectrul cu hamiltonianul semifenomenologic obţinut. Hamiltonianul de spin face astfel legătura între măsurătorile experimentatorului şi cele mai generale consideraţii ale teoreticianului.

6. Concluzii

Din prezentarea sumară de mai sus a modului de obţinere a proprietăţilor structurale şi dinamice ale materiei rezultă că metoda de rezonanţă paramagnetică electronică este una din cele mai puternice metode spectroscopice.

În încheiere, doresc să trec în revistă principalele preocupări actuale şi de perspectivă în domeniul spectroscopiei de rezonanţă paramagnetică ce se desfăşoară în laboratoarele din ţara noastră.

Principalul grup de cercetători care lucrează în acest domeniu se află la Institutul de Fizică Atomică din Bucureşti. Astfel, în laboratorul de „Interacţiunea radiaţiei cu substanţa", se efectuează în principal, studiul defectelor induse de radiaţiile nucleare în diferite materiale, unele cu aplicaţii nucleare. În acest scop se utilizează metodele de rezonanţă paramagnetică electronică, corelate cu rezonanţa nucleară, dubla rezonanţă electrono nucleară, feromagnetică, OPRES, măsurători de susceptibilitate magnetică, dielectrice, efect Mössbauer, etc. În acest laborator s-a iniţiat, de curînd, aplicarea metodei de rezonanţă magnetică dublă la analiza concentraţiei izotopilor U—235, U—233, etc., în

materiale nucleare, lucru deosebit de important pentru sistemul internaţional de garanţii. De asemenea, studiul difuziei defectelor şi autodefectelor de iradiere în materialele nucleare este efectuat pe baza rezonanţei magnetice nucleare, în sistemul rotitor.

Rezultatele obţinute pînă acum ne permit să afirmăm că metoda de rezonanţă paramagnetică este un instrument eficace şi fin de investigare a proprietăţilor materialelor cu importanţă nucleară.

Dintre alte preocupări ale laboratorului în domeniul RES mai amintim următoarele : sînt studiate defectele de iradiere în diferite halogenuri alcaline, oxizi, carbonaţi, substanţe feroelectrice etc. Tehnicile de iradiere sînt variate —UV, X, γ, neutroni la diferite temperaturi. Defectele ce apar şi care sînt studiate în special prin RES şi ENDOR sînt : diferite tipuri de centri de culoare, radicali liberi, etc. Studiile efectuate au permis elucidarea naturii acestor defecte. Astfel, au fost identificaţi o serie de radicali liberi în cristale feroelectrice şi în calcită iradiată.

În viitor se vor studia defecte de iradiere şi autoiradiere în oxizi ai materialelor fisionabile continuînd în acelaşi timp şi direcţiile urmărite pînă acum. S-a început studiul formei liniei de rezonanţă în NMR pentru solidele diamagnetice cu defecte, avîndu-se în vedere aplicaţiile acestor studii teoretice la analiza semnalelor de înaltă rezoluţie în solide, o metodă de perspectivă în studiul structural al defectelor punctuale.

Alte studii de rezonanţă magnetică electronică şi nucleară se efectuează pe metale şi aliaje ale pămînturilor rare, pe ioni ai elementelor de tranziţie şi în domeniul construcţiei de aparate şi dispozitive speciale de microunde.

Sînt concepute în cadrul acestui laborator o instalaţie de măsurare a impulsului de relaxare spin-reţea în impulsuri, cu posibilităţi de a măsura timpi de relaxare pînă la 10^{-5} sec. De asemenea, este în curs de realizare o instalaţie de spectrometrie — relaxare cu detecţie optică OPRES, ce va permite efectuarea de studii RES şi ENDOR cu sensibilităţi de 10 ori mai mari ca prin metodele standard.

Una din problemele interesante ce a început a fi de curînd abordată în cadrul acestui laborator în colaborare cu laboratorul Argonne din S.U.A. este studiul defectelor de iradiere produse prin raze X şi neutroni în ThO_2 şi UO_2. Aceşti oxizi sînt combustibili nucleari, ThO_2 fiind de mare viitor în reactorii reproducători. Cunoaşterea caracteristicilor defectelor produse prin iradiere în aceşti oxizi reprezintă o problemă de mare importanţă ştiinţifică şi tehnologică.

Într-un alt laborator al I. F. A., cel de Radiospectroscopie, direcţiile principale de lucru sînt construcţia de aparatură de rezonanţă şi studii de polarizare dinamică nucleară. În prima direcţie s-a reuşit construirea unei serii de tipuri de spectrometre de rezonanţă electronică de spin cu calităţi competitive pe plan internaţional. Lucrările de polarizare dinamică, pe lîngă scopul direct, de a obţine ţinte cu nuclee polarizate, permit studierea interacţiunilor între sistemele de spini electronici şi nucleari, de unde se pot trage concluzii asupra structurii şi mobilităţii defectelor. De asemenea, s-au studiat natura şi cinetica de formare a radicalilor liberi în diferiţi compuşi anorganici iradiaţi.

În colaborare cu laboratorul de „Intercţiunea radiaţiei cu substanţa" de la IFA, lucrează un grup de fizicieni de la Facultatea de Fizică — Bucureşti. În laboratorele facultăţii dotate cu un spectrometru modern

de RES s-au obţinut rezultate interesante legate de natura centrilor paramagnetici termoluminiscenţi în LiF şi $CaCO_3$. De asemenea, s-au efectuat măsurători de rezonanţă paramagnetică pe ioni paramagnetici (Fe^{3+}) asociaţi cu defecte structurale, s-a studiat natura şi cinetica de formare în diferiţi de compuşi de Re, variate cristale feroelectrice, şi sînt în curs studii pe materiale nucleare, în particular grafit.

Studii optice şi magnetooptice asupra centrilor de culoare se desfăşoară la I.F. B. Ele se axează pe studiul defectelor în $BaCl_2$, SrCl iradiate sau dopate, pe semiconductori sau metale, fiind completate de măsurători de RES. De asemenea, există o largă preocupare în domeniul studiului aliajelor metalelor de pămînturi rare, prin RMN.

Între laboratoarele în care se efectuează măsurători de rezonanţă magnetică, trebuie menţionat şi laboratorul de Corp Solid al Universităţii din Cluj. În acest laborator, echipat cu spectrometre RES şi RMN se desfăşoară următoarele studii : studii ale ionilor de tranziţie în diferite medii diamagnetice şi semiconductoare, studii asupra fenomenelor de interferenţă solid-gaz. Rezultate interesante au fost obţinute în domeniul defectelor de iradiere. Au fost observaţi cîţiva radicali noi în substanţe anorganice iradiate pe bază de azot şi sulf, cît şi centri de culoare în halogenuri alcaline dopate şi iradiate cu UV.

Studii de rezonanţă magnetică sînt efectuate şi în alte centre de cercetări, printre care Institutul de Chimie Fizică — Bucureşti care efectuează studii RPE în chimie, Institutul de Chimie Organică efectuează studii RMN pe molecule organice. Metodele de rezonanţă magnetică sînt utilizate, de asemenea, pentru studiile biologice efectuate în cîteva institute medicale şi catedre universitare.

Considerăm că cele prezentate mai înainte, deşi sumar, reprezintă suficiente argumente pentru a atesta dezvoltarea deosebită a cercetărilor din acest domeiu în ţara noastră şi importanţa lor crescîndă atît pentru elucidarea unor fenomene noi, cît şi pentru aplicaţii.

BIBLIOGRAFIE

1. *E. Zavoiski*, J. Phys. U. S. S. R. 9, 211 (1945).
2. *R. P. Cummerow* şi *D. Halliday*, Phys. Rev. 70, 433 (1946).
3. *B. Bleaney* şi *K. W. H. Stevens*, Rept. Progr. Phys. 16, 108(1953).
4. *K. D. Bowers* şi *J. Owen*, Rept. Progr. Phys. 18, 304, (1955).
5. *I. Ursu*, ,,La résonance paramagnétique éléctronique'' Paris, Dunod, (1968).
6. *I. Ursu*, *V. Lupei* şi *S. V. Nistor*, Atomic Energie Review (Viena) 5, 97 (1967).
7. *I. Ursu*, *V. Lupei*, şi *S. V. Nistor*, ,,Date noi privind parametri RES ai ionilor elementelor de tranziţie ,,Preprint I. F. A., I S—39, (1967).
8. *I. Ursu*, ,,Rezonanţă paramagnetică electronică — aplicaţii în chimie şi biologie'' Ed. Tehnică (1966).
9. *A. Abragam*. ,,The principles of Nuclear Magnetism'' Oxford (1961).
10. *A. Abragam* şi *M. H. L. Pryce*, Proc. Roy, Soc. (London) A 206, 173 (1951)

FENOMENUL DE RELAXARE ELECTRONICĂ PARAMAGNETICĂ ÎN SOLIDE

Cercetător *D. DEMCO*

1. Introducere

Dacă un ansamblu statistic format din mai multe sisteme în interacțiune este supus unei peturbații exterioare, revenirea la starea de echilibru în urma încetării perturbației poartă numele de proces de relaxare. Fenomenul de relaxare este des întîlnit în diferite ramuri ale fizicii și apare ca urmare a principiilor termodinamicii. Revenirea la starea de energie cea mai joasă a sistemului, poate avea loc prin diferite procese de relaxare a căror tărie este caracterizată prin timpii de relaxare sau inversul lor, viteze de relaxare, ce reprezintă o măsură a vitezei cu care echilibrul termodinamic al sistemului este atins, dacă nu există nici o forță exterioară opusă procesului

Ne propunem să analizăm fenomenele de relaxare pentru un sistem paramagnetic, adică un sistem cu dipoli permanenți magnetici ce are o anumită structură de nivele energetice. Deoarece în multe cazuri sistemul paramagnetic apare din cauza momentelor magnetice electronice ale ionilor elementelor de tranziție diluați într-un mediu diamagnetic, ne va interesa fenomenul de relaxare în cadrul rezonanței electronice, [1], [2], [3].

Primele încercări de studiere a relaxării paramagnetice prin metode nerezonante au fost făcute de grupul de la Leiden condus de Gorter și Casimir, începînd din anul 1930. Aceste studii au avut ca scop clarificarea mecanismului de obținere a temperaturilor joase prin demagnetizare adiabatică a sărurilor paramagnetice. Odată cu descoperirea fenomenului de rezonanță, de către Zavoiski în 1944 la Kazan, studiile de relaxare s-au dezvoltat vertiginos. Acest lucru se datorează în parte faptului că fenomenul de relaxare este o parte inseparabilă a fenomenului de rezonanță, ce cuprinde în el informații structurale și informații relativ la interacțiunile din substanță, cît și aplicațiile practice bazate în mare măsură pe acest fenomen. Din categoria acestora din urmă, putem aminti generatorii și amplificatorii cuantici de tip maser, realizarea temperaturilor foarte scăzute, a țintelor polarizate necesare studierii reacțiilor nucleare în acceleratori, etc.

2. Dinamica sistemului de spini.

Vom considera un ansamblu statistic ca format din următoarele subsisteme : 1° Subsistemul *de spin* ce cuprinde totalitatea momentelor magnetice dipolare ce sînt excitate în fenomenul de rezonanță și 2° subsistemul *rețea*, ce cuprinde ambianța cu care spinii interacționează sau mai general, toate gradele de libertate ale corpului, cu excepția celor de spin.

Studiul dinamicii sistemului de spin este o problemă foarte complexă, parțial rezolvată, și care poate fi abordată din două puncte de vedere : fenomenologic prin ecuațiile Bloch [4] și ecuațiile de viteză [5] sau cuanto-mecanic cu ajutorul matricii de densitate, [6].

În teoria fenomenologică a lui Bloch se consideră un sistem de momente magnetice supuse simultan acțiunii unui cîmp static puternic H_0 și

a unui cîmp de radiofrecvență perpendicular $H_1(t)$ cu frecvența de rezonanță Larmor, $\omega_0 = \gamma H_0$, unde γ este factorul giromagnetic. Dacă cîmpul $H_1(t)$ este aplicat sub forma unui puls intens, toate momentele individuale vor precesa în fază în jurul lui H_0. În același timp magnetizarea se depărtează de cîmpul H_0. După întreruperea pulsului au loc două fenomene : a) componenta M_z a magnetizării totale a probei, $\vec{M} = \sum_{\text{unit. volum}} \mu_i$ (μ_i : momentul magnetic individual) revine la valoarea ce precede pulsul, cu o constantă de timp T_1, numită timp de relaxare spin — rețea și care caracterizează schimbul de energie dintre sistemul de spini și rețea ; b) componentele M_x și M_y se anulează cu constanta de timp T_2, numită timp de relaxare spin — spin și care caracterizează schimburile energetice din interiorul sistemului de spin. Aceste schimburi energetice apar între spinii ce *văd* diferite valori ale cîmpului magnetic, din cauza cîmpurilor magnetice locale diferite. Dacă distribuția în frecvența Larmor a spinilor din cauza cîmpurilor locale este $\Delta\omega$ atunci :

$$T_2 \sim \frac{1}{\Delta\omega} \sim \frac{1}{\gamma \Delta H_0} \tag{1}$$

unde ΔH_0 este distribuția în cîmpurile locale, iar T_2 este timpul unei precesii a spinului în jurul cîmpului local, ΔH_0.

Dacă cîmpul perturbator periodic monocromatic $H_1(t)$, este aplicat continuu la valori mici, atunci magnetizarea macroscopică a sistemului este descrisă de ecuațiile Bloch :

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = \gamma(\vec{H} \times \vec{M}) - \frac{M_x\vec{i} + M_y\vec{j}}{T_2} + \frac{M_0 - M_z}{T_1}\vec{k} \tag{2}$$

unde $\vec{H} = H_0\vec{k} + \vec{H}_1$; M_0 este magnetizarea de echilibru egală cu $\chi_0 H_0$ unde χ_0 este susceptibilitatea statică, iar $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$, sînt versorii sistemului de coordonate, cu $\vec{k} \,||\, H_0$.

Dacă retranscriem ecuația de mai sus în sistemul rotitor cu frecvența Larmor în jurul lui H_0 și anulăm cîmpul perturbator, sistemul evoluează în timp după ecuațiile :

$$\begin{aligned} M_z &= M_0 (1 - e^{-t/T_1}) \\ M_{x,y} &= M^0_{x,y}\, e^{-t/T_2} \end{aligned} \tag{3}$$

unde la momentul $t = 0$, $M = M^0_x i + M^0_y j$. Din interpretarea ecuațiilor (3) rezultă că T_1 și T_2 se mai pot numi timp de relaxare longitudinal respectiv transversal.

Pentru un sistem fizic liniar răspunsul la un cîmp de forma $2H_1 \exp(i\omega t)$ se poate scrie sub forma :

$$\vec{M}(t) = \mathrm{Re}\{\chi 2\vec{H}_1 e^{i\omega t}\} \tag{4}$$

unde $\chi = \chi' - i\chi''$ este susceptibilitatea dinamică a sistemului. Viteza medie cu care puterea este absorbită de la cîmpul de radiații este :

$$P = \frac{\omega}{2\pi}\int_0^{2\pi/\omega} 2\vec{H}_1 e^{i\omega t}\frac{d\vec{M}}{dt}\,dt = 2\omega\chi'' H_1^2 \tag{5}$$

Cunoscînd expresia lui χ'' dedusă din ecuațiile Bloch în condiții staționare adică la stabilirea echilibrului dinamic între absorbția de putere și emisia neradiativă la rețea, ce reprezintă tocmai procesul de relaxare, [7]:

$$\chi'' = \frac{1}{2}\chi_0 \omega_0 T_2 \frac{1}{1 + T_2^2(\omega_0 - \omega)^2 + \gamma^2 H_1^2 T_1 T_2} \tag{6}$$

puterea absorbită va fi dată de expresia:

$$P = \frac{\omega\omega_0 \chi_0 T_2 H_1^2}{1 + T_2^2(\omega_0 - \omega)^2 + \gamma^2 H_1^2 T_1 T_2} \tag{7}$$

Din expresia de mai sus se observă că puterea absorbită de proba paramagnetică descrește cînd H_1 crește, anulîndu-se pentru valori nu prea mari ale lui H_1^2.

Acest fenomen numit *saturație* corespunde creșterii puternice a absorbției de energie, pentru un proces de relaxare constant, creștere ce pentru un sistem de spini dat, cu capacitate calorică finită, este evident limitată.

Procesele de relaxare spin-spin, pentru solide, la care vom limita discuția, sînt mult mai rapide ca cele spin-rețea. În cele ce urmează vom analiza în detaliu procesul de relaxare spin-rețea deoarece el conține cele mai multe informații relativ la interacțiunile sistemului de spini cu ambianța. Din motive de spațiu ne vom limita la cazul centrilor paramagnetici diluați în matrici diamagnetice, excluzînd clasa mare a fenomenelor de relaxare în metale, semiconductori, soluții, etc.

3. Procese de relaxare.

Pentru a înțelege mai bine dificultatea studierii mecanismului de relaxare spin-rețea, vom prezenta o diagramă ce indică modurile posibile prin care energia cîmpului de radiație, absorbită de spinii rezonanți I, este disipată.

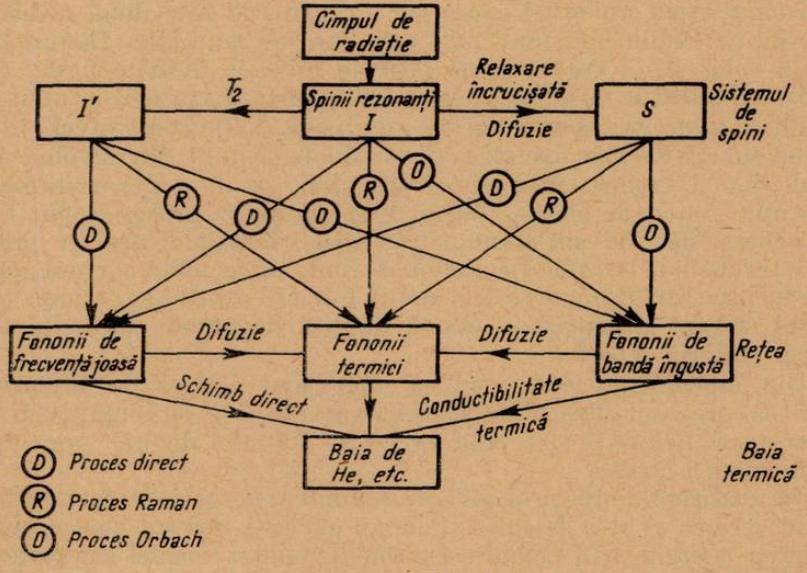


Fig. 1

Dacă există un sistem de spini I' ce au aceeași frecvență de rezonanță cu spinii I, atunci schimbul de energie între cele două sisteme este caracterizat de timpul de relaxare spin-spin T_2. În cazul unui sistem de spini nerezonant S, ce poate fi reprezentat prin pachetii de spini într-o linie lărgită neomogen sau prin componentele de structură hiperfină, energia poate fi transferată de la I la S prin mecanismul de difuzie ce cuprinde, pentru conservarea energiei, schimbul de cuante cu rețeaua, cu o constantă de timp τ_d, ce satisface condiția $T_2 < \tau_d < T_1$.

Dacă distanțele între nivelele energetice ale spinului S sînt un multiplu al sistemului de nivele corespunzătoare spinului I, atunci o tranziție a spinului S este determinată de mai multe tranziții ale spinului I, fenomen numit: relaxare armonică încrucișată.

Procesele de relaxare spin-spin, difuzia de spini și relaxarea încrucișată sînt independente de temperatură în primul ordin, dar depind de valoarea cîmpului magnetic la care au loc tranzițiile. Studiul teoretic al acestor procese este foarte complicat și fenomenele sînt numai parțial studiate, rămînînd multe aspecte neclarificate.

Să considerăm în cele ce urmează rețeaua reprezentată ca un sistem de excitații elementare, fononii distribuiți după un spectru Debye cu energia maximă $k\theta_D$, independentă de temperatură.

În procesul de relaxare numit direct, spinii schimbă energia cu rețeaua prin emisia unui fonon avînd exact energia de rezonanță. Deci în acest proces participă numai fononii de microunde.

În procesul Raman, spinii interacționează simultan cu două moduri de vibrație ale rețelei, avînd frecvențe diferite față de cea de rezonanță. Un fonon este absorbit și altul emis, astfel că diferența de energie, $h\nu_1 - h\nu_2$, este absorbită sau emisă de către sistemul de spini ce efectuează o tranziție. Evident toți fononii în spectrul Debye participă la acest proces. Deși posibilitatea unui astfel de proces de ordin doi este mai mică ca a procesului direct, procesul fiind nerezonant și deci participă mulți fononi, el este efectiv în anumite condiții de teperatură.

Un proces de ordinul doi, rezonant, sau *direct în cascadă*, are loc atunci cînd avem un nivel energetic apropiat de cele două nivele energetice ale sistemului de spini între care are loc tranziția. Distanța energetică a celui de al treilea nivel față de nivelele fundamentale, trebuie să satisfacă condiția $\Delta < k\theta_D$, pentru ca absorbția sau emisia unui fonon să conducă la urcarea sau coborîrea unui spin de pe acest nivel. În detaliu, procesul are loc prin excitarea unui spin de pe unul din nivelele fundamentale pe al treilea, prin absorbția unui fonon și dezexcitarea, prin emisia unui fonon de energie puțin diferită. Acest proces numit Orbach se deosebește de procesul Raman prin acea că ultimul are loc printr-un nivel intermediar virtual. În al doilea rînd, orice nivel virtual este utilizabil în procesul Raman și deci mulți fononi contribuie la acest proces. Procesul Orbach utilizează o bandă îngustă de fononi de înaltă energie în jurul valorii $\Delta = h\nu$.

Din dependența cunoscută a spectrului Debye de temperatură, rezultă că procesul direct și Orbach sînt efective la temperaturi joase (temperatura heliului), pe cînd procesul Raman devine preponderent la temperaturi înalte.

Să analizăm acum procesele de schimb energetic în interiorul rețelei și între rețea și baia termică. Fononii excitați într-un mod de vibrație pierd greu energia prin ciocnire cu ceilalți fononi termici sau prin ciocnirea cu limitele cristalului, unde energia este preluată de baia termică.

Dacă pompajul de energie de la sistemul de spini în acest mod de vibrație prin proces direct sau Orbach, este mult mai efectiv ca pierderea de energie la baie sau fononii termici, *temperatura* acestui mod de vibrație va crește în comparație cu temperatura rețelei care este în echilibru termic cu baia. Ca urmare a acestui proces, viteza de relaxare ce este proporțională cu diferența temperaturilor sistemului de spini și a fononilor care sînt în interacțiune, se va micșora. Fenomenul se numește *îngustarea fonică* și depinde evident, de dimensiunile cristalului și de concentrația ionilor paramagnetici. El este efectiv numai la temperaturi coborîte.

Procesul de încălzire a fononilor rezonanți poate fi așa de puternic încît să conducă la obținerea unei temperaturi negative. În acest caz obținem în masa substanței un amplificator cuantic de fononi, numit *maser fononic.*

Dacă numărul de fononi de frecvență joasă prezenți la frecvența ν, difuzează prin rețea, atunci ei pot schimba din nou energie cu spinii rezonanți, reexcitîndu-i.

Acest proces este numit *pompaj fononic* și tinde să micșoreze timpul de revenire observat al spinilor în urma excitării, deoarece reduce numărul net de spini care relaxează.

4. Ecuațiile de viteză pentru procesele de relaxare.

Avînd în vedere complexitatea proceselor de relaxare vom aborda studiul cantitativ numai al procesului direct, utilizînd aproximația ecuațiilor de viteză. Modul de abordare a celorlalte procese de relaxare este în esență similar cu cel al procesului direct și poate fi găsit în [2].

Să considerăm un cristal avînd volumul V și numărul total de spini (ioni paramagnetici) N, introdus într-o baie de heliu la temperatura T Fie următoarea diagramă de nivele energetice pentru un ion într-un cîmp cristalin (ce produce despicarea Δ_c), unde $\Delta_c \gg \delta$.

Dacă N_a și N_b sînt populațiile de echilibru, atunci avem relațiile:

$$N_a + N_b = N\,;\quad N_b/N_a = \exp(-\delta/kT) \tag{8}$$

iar $n_0 = N_a - N_b$ este diferența de populații la echilibru. Dacă perturbăm sistemul de spini, populațiile instantanee de neechilibru n_a și n_b satisfac relațiile:

$$n_a + n_b = N\,;\quad n \equiv n_a - n_b\,;$$
$$n_b/n_a = \exp(-\delta/kT_s)$$

unde $T_s(\neq T)$ este temperatura efectivă sau de spin pentru cele două nivele. O analiză detaliată a acestei noțiuni importante se poate găsi în [8].

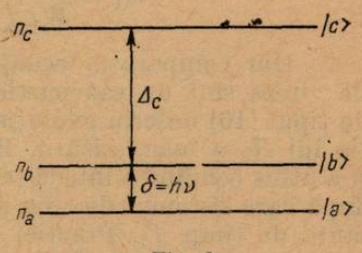


Fig. 2

Definind $W_{a\to b}$ probabilitatea per secundă pentru tranziția $|a\rangle \to |b\rangle$ și $W_{b\to a}$, probabilitatea procesului invers, putem scrie următoarele ecuații de viteză:

$$\frac{dn_a}{dt} = W_{b\to a} n_b - W_{a\to b}\, n_a$$
$$\frac{dn_b}{dt} = W_{a\to b}\, n_a - W_{b\to a}\, n_b \tag{10}$$

de unde:

$$\frac{dn}{dt} = (W_{b\to a} - W_{a\to b})\, N - (W_{b\to a} + W_{a\to b})\, n \tag{11}$$

Numărul de fononi în modul de vibrație avînd energia δ este dat de funcția de distribuție Bose—Einstein:

$$P(\delta) = [\exp(\delta/kt) - 1]^{-1} \tag{12}$$

Evident, posibilitățile de emisie sau de absorbție de relaxare depind atît de sistemul de spin cît și de cel fononic. Putem deci scrie:

$$\begin{aligned} W_{b\to a} &= K[P(\delta) + 1] \\ W_{a\to b} &= K\, P(\delta) \end{aligned} \tag{13}$$

unde K este un factor dependent de mecanismul de interacțiune dintre sistemul de spini și rețea, dar independent de temperatură.

Ecuația (11) se va putea scrie,

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= 2K[-n_b P(\delta) - n_b + n_a P(\delta)] \\ &= K\,[N - (2P(\delta) + 1)n] \end{aligned} \tag{14}$$

Utilizînd ecuațiile (9), avem:

$$n_0 = N \tanh(\delta/kT) \tag{15}$$

de unde:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{n_0 - n}{T_1} \tag{16}$$

cu:

$$T_1 = \frac{1}{W_{a\to b} + W_{b\to a}} = [K \coth(\delta/2kt)]^{-1} \tag{17}$$

Din comparația ecuației (16) cu ecuația (2), rezultă că ecuațiile de viteză sînt un caz particular al ecuațiilor Bloch. Ecuațiile de viteză de tipul (16) descriu evoluția în timp numai a componentei după direcția lui H_0 a magnetizării. Ele sînt corecte numai cînd sistemul de spini și-a atins echilibrul intern (cu constanta de timp T_2), deci cînd $M_{x,y} = 0$, după care sistemul de spin evoluează spre echilibrul cu rețeaua, cu constanta de timp T_1. Practic, cazul de mai sus se realizează pentru solide unde în general $T_2 \ll T_1$.

În aproximația temperaturilor înalte (în majoritatea cazurilor temperatura heliului lichid este o temperatură înaltă) $\delta \ll 2kT$, avem:

$$T_1^{-1} = 2\, kT/\delta \equiv A \cdot T \tag{18}$$

iar în cea a temperaturilor coborîte (sub 100 mK°), avem $T_1^{-1} = K$, care după (13) reprezintă probabilitatea de tranziție pentru emisia spontană a fononilor.

Procesul de relaxare direct (ca și procesul Raman sau Orbach) poate avea loc prin diferite mecanisme concrete de interacțiune. Vibrațiile rețe-

lei vor conduce la modificarea distanței dintre ionii sau atomii rețelei. Interacțiunile dipol-dipol, hiperfine izotrope sau anizotrope, spin—orbită etc., devin dependente de timp și acționează ca niște perturbații, $V(t)$, asupra sistemului de nivele energetice ale centrului paramagnetic în rețea. Probabilitățile de tranziție se calculează după teoria perturbațiilor dependente de timp, [9] iar T_1 se obține utilizînd (17). Calcularea timpului de relaxare spin — rețea în această manieră cuanto-mecanică, utilizînd niște perturbații fenomenologice, ne permite să explicităm constantele ce multiplică temperatura în relațiile de tip (18). Calculele efectuate pentru diferite mecanisme și procese de relaxare au evidențiat dependența lui T_1^{-1} de doi parametri centrali, intensitatea cîmpului magnetic H și temperatura T. Tabelul de mai jos sumarizează dependența vitezei de relaxare de H și T, în aproximația temperaturilor înalte.

Procesul de relaxare	Tipul de centru paramagnetic	Dependența de H	Dependența de T.	T_1^{-1}
Procesul direct	Kramers	H^4	T	$A'H^4T$
	non—Kramers	H^2	T	$A''H^2T$
Procesul Raman	Kramers	H și H^2	T^9 și T^7	$B'T^9+B''H^2T^7$
	non Kramers	H^0	T^7	BT^7
Procesul Orbach	Kramers sau non Kramers	H^0	$\exp(-\Delta_c/kT)$	$\left.\begin{matrix}C_K\\C_{N-K}\end{matrix}\right\}\exp(-\Delta_c/kT)$
Procesul de îngustare fononică	Kramers sau non-Kramers	H^0	T^2	DT^2

Dacă presupunem că vitezele de relaxare corespunzătoare diferitelor procese (indice i) și mecanisme (indice j) sînt independente, atunci viteza de relaxare totală a centrului paramagnetic va avea forma :

$$T_1^{-1} = \sum_i \sum_j (T_1^{-1})_{ij} = \sum_i \sum_j \sum_k a_{ijk} H^{mijk} T^{mijk} \qquad (19)$$

Mărimile care intervin în această formulă generală pentru diferite procese de relaxare se pot explicita pe baza tabelului de mai sus.

Timpul de relaxare spin-rețea depinde și de orientarea axelor cîmpului cristalin față de cîmpul magnetic exterior, de raportul distanțelor dintre nivelele energetice, de numărul și tipul tranzițiilor de rezonanță, de prezența defectelor punctuale, liniare, de cîmpul electric sau de presiunea aplicată monocristalului, de dimensiunile cristalelor și concentrația ionilor, etc. Pentru fiecare din aceste cazuri dependența de H și T capătă o formă specifică sau este reflectată în coeficienții a_{ijk}.

În concluzie, studiul teoretic și experimental al timpului de relaxare spin-rețea, ne conferă informații detaliate asupra tipurilor de interacțiuni ce au loc în solid la nivel microscopic și a modului cum se modifică aceste interacțiuni prin schimbarea parametrilor micro și macroscopici.

5. Măsurarea timpului de relaxare spin-rețea.

Din anul 1930, cînd au început primele măsurători de timpi de relaxare și pînă acum, tehnicile de măsură s-au dezvoltat vertiginos permițînd la ora actuală o cunoaștere precisă nu numai a lui T_1 dar și a lui T_2, a timpului de difuzie a energiei în linia de rezonanță, etc.

Metodele de măsură se pot clasifica după caracterul excitației sistemului de spini în nerezonante și rezonante. Evident, ultimele metode au avantajul unei mai mari sensibilități și unei interpretări mai directe.

Metodele rezonante se bazează pe excitarea, fie continuă fie periodică a sistemului de spini cu cîmpuri electromagnetice și detectarea continuă a schimbărilor ce au loc în timp, în populațiile acestor nivele.

Vom prezenta în cele ce urmează numai metoda saturării în pulsuri, pentru restul metodelor recomandîndu-se lucrarea [2].

Principiul unei instalații de măsurare a timpului de relaxare spin-rețea prin metoda saturării în impulsuri este dat în fig. 3.

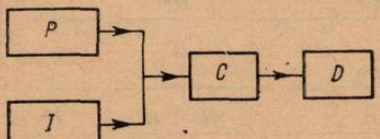


Fig. 3

P este sistemul de pulsare a cîmpului de microunde ce conduce la egalizarea populațiilor nivelelor energetice ale probei plasate în cavitatea rezonantă C. După aplicarea pulsului perturbator, populațiile nivelelor energetice revin la echilibru cu viteza T_1^{-1} dată de soluția ecuației (16):

$$n = n_0 \left[1 - \exp(-t/T_1)\right] \tag{20}$$

Deoarece amplitudinea semnalului de absorbție rezonantă este proporțională cu diferența instantanee de populații între nivele între care are loc tranziția, observarea semnalului în timp, cu un sistem de investigare I și de detecție D, permite determinarea directă a lui T_1.

Pentru ca revenirea sistemului la starea de echilibru să se facă în lipsa oricărei perturbații exterioare, semnalul de investigare trebuie să fie foarte slab, ceea ce ridică probleme în privința detectării lui.

Schema de principiu a unei instalații de măsurare a timpului de relaxare spin — rețea proiectată la Institutul de Fizică Atomică din București, lucrînd în banda de 3 cm., este dată în fig. 4.

Cu ajutorul comutatorului de microunde se poate obține de la klistronul stabilizat în frecvență, atît semnalul de saturație, cît și cel de investigare. Pe timpul pompajului, pentru evitarea saturării receptorului superheterodină, acesta se blochează printr-un semnal obținut de la generatorul de puls ce comandă și comutatoarele de microunde.

Înregistrarea semnalului exponențial se face pe un osciloscop cu cameră fotografică. Timpul de relaxare spin-rețea, se poate determina

prin prelucrarea ulterioară a curbei exponențiale sau direct, prin compararea acestei curbe cu altă curbă exponențială avînd o constantă de timp cunoscută, ce se poate genera pe ecranul unui osciloscop cu două spoturi.

Studiul proceselor de relaxare în cadrul fenomenului de rezonanță electronică a fost abordat în aspectele cele mai moderne și de către fizicienii români, în cadrul școlii de rezonanță din București și Cluj, condusă de Profesorul Ioan Ursu.

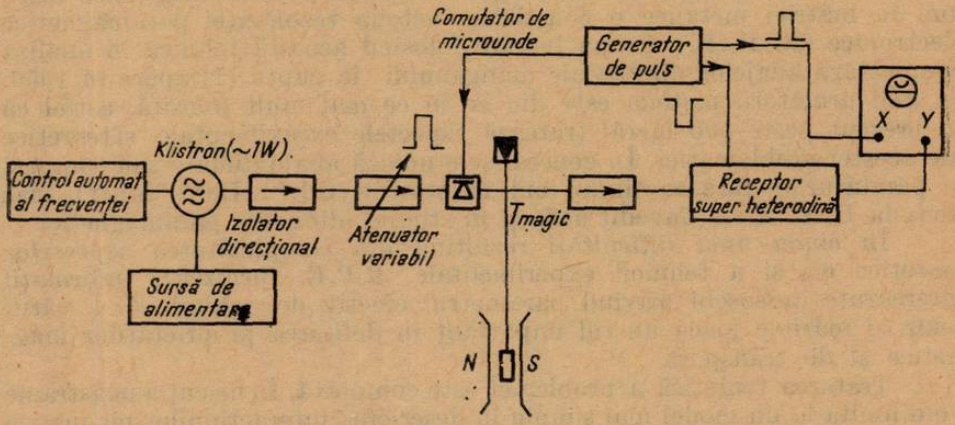


Fig. 4

Astfel s-au efectuat investigații relativ la mecanismele și procesele de relaxare ce au loc în unele materiale nucleare iradiate. În acest sens, s-a studiat depedența timpului de relaxare spin-rețea de modelul defectului, de efectele de ciorchine, etc..

Măsurarea timpului de relaxare spin-rețea a centrilor paramagnetici a permis să se obțină pe lîngă informațiile microscopice legate de structura și interacțiunile din solid și a vitezi de relaxare, parametru esențial necesar a fi cunoscut pentru proiectarea dispozitivelor laser sau a țintelor polarizate pentru studierea reacțiilor nucleare.

BIBLIOGRAFIE

[1] *I. Ursu*, „La résonance paramagnétique éléctronique" Paris, Dunod, (1968).
[2] *K. J. Standley, R. A. Waughan*, „Electron Spin Relaxation Phenomena in Solids" London, (1969).
[3] *A. A. Manenkov, R. Orbach*, „Spin—Lattice Relaxation in Ionic Solids", Harper and Row, (1966).
[4] *F. Bloch*, Phys. Rev. 70, 460 (1946).
[5] *N. Boembergen, E. M. Purcell, R. V. Pount*, Phys. Rev. 73, 679 (1948).
[6] *R. Fano*, Rev. Mod. Phys. 53, 241 (1960).
[7] *F. E. Pake*, „Paramagnetic Resonance", W. A. Benjamin Inc. (1962).
[8] *A. Abragam*, „Principles of Nuclear Magnetism", O. U. P. (1961).
[9] *L. I. Schiff*, „Quantum Mechanics", McGraw Hill, (1955).

CONSIDERAȚII PRIVIND STUDIUL PRIN REZONANȚĂ PARAMAGNETICĂ ELECTRONICĂ A IONILOR IN METALE

Cercetător principal, Dr. Ing. *E. BURZO*

1. Introducere.

Una din metodele de investigare a interacțiunilor magnetice între ioni în matrici metalice o constituie metoda rezonanței paramagnetice electronice (R. P. E.). Prima lucrare folosind această tehnică în analiza comportării aliajelor diluate ale manganului în cupru (1) apare în 1956. În anii următori, metoda este din ce în ce mai mult folosită, astfel că în prezent peste 500 lucrări tratează aspectele experimentale și teoretice ale acestei problematici. În general se studiază aliaje diluate sau compuși ai pământurilor-rare conținînd ioni în stare s (Gd^{3+}, Eu^{2+}, Mn^{2+}), însă metoda R. P. E s-a dovedit utilă și în studiul altor ioni paramagnetici.

În ciuda unor dificultăți rezultînd din complexitatea aspectelor teoretice cît și a tehnicii experimentale, R.P.E. furnizează informații interesante îndeosebi privind parametrul efectiv de schimb J a cărui semn și mărime joacă un rol important în definirea proprietăților magnetice și de transport.

Tratarea teoretică a problemei este complexă. În discuția noastră ne vom limita la un model mai simplu în descrierea interacțiunilor magnetice și modul de reflectare a acestora în valorile g_s. Particularitățile prezentate de linia de rezonanță în metale, impun o analiză a acesteia în vederea precizării metodelor de determinare a poziției rezonante. Vom exemplifica expunerea cu măsurătorile R.P.E. efectuate asupra compusului $GdNi_5$. În încheiere prezentăm direcțiile de cercetare, în care metodica R.P.E. se afirmă cu succes în studiul aliajelor metalice.

2. Interacțiuni magnetice în aliaje diluate sau conținînd elemente pământuri-rare.

Sistemele metalice conținînd elemente pământuri-rare sau aliaje diluate, pot fi descrise ca un ansamblu de ioni magnetici introduși într-o *mare* de electroni de conducție. Momentele localizate interacționează prin intermediul acestor electroni, rezultînd un cuplaj indirect ion-ion, responsabil pentru magnetismul acestor sisteme.

Alături de mecanismul de interacțiune *atomic* de tip s—f(d) descris, menționăm prezența unor interacțiuni rezultînd din efectele amestecului *covalent* între stările localizate și cele ale benzii de conducție.

Ne propunem a trece în revistă mecanismele menționate mai sus dat fiind contribuția ambelor în precizarea valorii integralei de schimb efective **J** a sistemului nostru magnetic.

2.1. Interacțiuni de schimb de tip s—f(d). Să considerăm un metal format din ioni cu momentul magnetic $\vec{S}_n$ și electroni pe care îi descriem ca liberi. Fie N_0 numărul pozițiilor rețelei pe unitatea de volum, iar J_A integral de schimb. Interacțiunile ce apar între spinul momentului localizat $\vec{S}_n$ și electronii de conducție, după Kasuya (2), pot fi exprimate prin Hamiltonianul :

$$\vec{H}_A = -N_0^{-1} \sum_{\vec{k}} \sum_{\vec{q}} \sum_{n} \mathbf{J}_A(\vec{q}) \exp\,[i\vec{q}\,\vec{R}_n] \Big\{ (a^*_{k+}\, a_{(k-q)+} - a^*_{k-}\, a_{(k-q)-})\, S^z_n + $$

$$+ a^*_{k+}\, a_{(k-q)-} S^-_n + a^*_{(k-q)-}\, a_{k+}\, S^+_n \Big\} \qquad (1)$$

unde :

$$\sigma_z = \sum_i \sigma^z_i = \sum_{\vec{k}} (a^*_{k+}\, a_{(k-q)-} - a^*_{k-}\, a_{(k-q)-})$$

$$\sigma^+ = a^*_{k+}\, a_{(k-q)-} \qquad (3)$$

$$\sigma^- = a^*_{(a-q)-}\, a_{k+}$$

iar :

$$\mathbf{J}_A(\vec{q}) = N_0 \iint d\vec{r}_1\, d\vec{r}_2\, \psi^*_{in}(\vec{r}_1)\, \psi^*_{\vec{k}}(\vec{r}_2) \frac{1}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|} \psi_{in}(\vec{r}_2)\, \psi_{\vec{k}-\vec{q}}(\vec{r}_1) \exp\,[-i\vec{q}\vec{R}_n]$$

Am notat $\vec{q} = \vec{k} - \vec{k}'$, ψ_{in} funcţia de undă a unui electron localizat al ionului paramagnetic n aflat la poziţia $\vec{R}_n$, iar prin $\psi_{\vec{k}}$ funcţia de undă a electronului liber.

O problemă importantă şi mult discutată în magnetism este cea legată de forma şi valoarea integralei de schimb $\mathbf{J}_A(\vec{q})$. Watson şi Freeman (3), au analizat în detaliu comportarea acesteia conchizînd că în general depinde de $\vec{q}$. Pentru ionii metalelor pămînturi — rare, putem considera, într-o bună aproximaţie, că $\mathbf{J}_A$ este funcţie numai de valoarea vectorului $|\vec{q}| = q$. Hamiltonianul dat de (1), în acest caz poate fi simplificat :

$$H^{(1)}_A(\vec{r}) = -\sum_n \vec{S}_n \int \vec{\sigma}(\vec{r})\, J_A(\vec{r} - \vec{R}_n)\, d\vec{r} \qquad (2)$$

cu :

$$J_A(\vec{r}) = N_0^{-1} \sum_{\vec{q}} \mathbf{J}_A(q) \exp\,[i\vec{q}\,\vec{r}]$$

$$\sigma(\vec{r}) = N_0^{-1} \sum_{\vec{q}} \sigma(\vec{q}) \exp\,[-i\vec{q}\,\vec{r}]$$

$$\vec{\sigma}(\vec{r}) \cdot \vec{S}_n = \sigma^z(\vec{q})\, S^z_n + \sigma^+(\vec{q})\, S^-_n + \sigma^-(\vec{q})\, S^+_n$$

Frecvent se consideră că J_A este constant, presupunere ce în general nu este însă justificată, în special pentru ionii elementelor de tranziţie. În acest caz Hamilotnianul ce descrie interacţiunile magnetice ale sistemului poate fi exprimat prin :

$$\vec{H}^{(2)}_A = -N_0^{-1} \sum_n J_A \vec{S}_n \vec{\sigma}(\vec{r})\, (\vec{R}_n - \vec{r}) \qquad (3)$$

Parametrul de schimb J_A este esențial *pozitiv* și are valori cuprinse între zecimi și sutimi dintr-un electron-volt.

2.2. Interacțiuni magnetice rezultînd din amestecul „covalent". Tendința spre valori negative ale parametrului efectiv de schimb este obișnuit explicată (4) prin presupunerea unui amestec *covalent* între orbitalii electronilor momentului localizat și cei de conducție. Vom analiza fenomenologic interacțiunea rezultînd din acest amestec între benzi, considerînd cazul gadoliniului (Fig. 1).

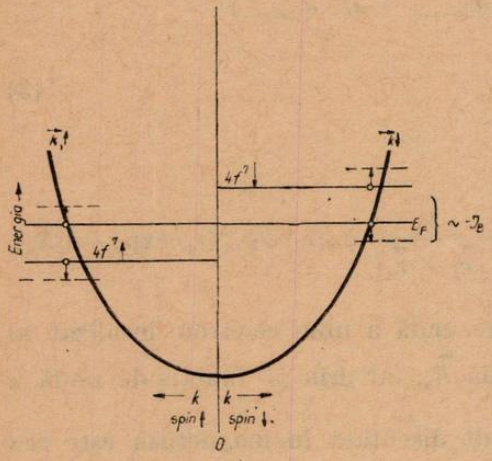


Fig. 1. Reprezentarea schematică a amestecului covalent în cazul gadoliniului.

Admitem o bandă de conducție nepolarizată plină pînă la nivelul Fermi. Presupunem că cei 7 electroni din învelișul 4 f al gadoliniului ocupă banda cu spinul ↑. Electronii 4 f sînt bine localizați energetic formînd o bandă îngustă sub suprafața Fermi. Asociat orbitalilor $\psi_{4f\downarrow}$ apare o bandă corespunzătoare stărilor neocupate deasupra suprafeței Fermi. Orbitalul unui electron de conducție $\psi_{\vec{k}\uparrow}$ aflat imediat deasupra suprafeței Fermi are în general un element de matrice ne-nul cu un orbital $\psi_{4f\uparrow}$ ocupat: $<\psi_{4f\uparrow}|h|\psi_{\vec{k}\uparrow}>$. Am notat prin h Hamiltonianul Hartree-Fock al unui electron. Acest element de matrice are o valoare finită nenulă, deoarece benzile nemagnetizate care au constituit punctul nostru de plecare, nu sînt stările proprii ale sistemului magnetizat, corespunzător Hamiltonianului h.

În ordinul doi, aceste elemente de matrice conduc la un amestec al funcțiilor de undă a celor doi electroni și ca o consecință are loc o scădere în energie a stărilor 4 f ↑ și o creștere în energie stărilor neocupate a electronilor liberi (Fig. 1) Acest proces a primit denumirea de proces de *emisie*, o stare 4 f ocupată avînd o parte din timp caracter de conducție.

Prin analogie definim un proces de *absorbție*, care implică stări 4 f virtuale și un orbital ocupat al electronului de conducție imediat sub suprafața Fermi. În acest caz starea cu caracter predominant de conducție are energia mai scăzută.

Rezultatul amestecului *covalent* discutat mai sus este deci o creștere în energie a electronilor de conducție cu spin paralel la momentul de spin localizat, însoțită de o scădere în energie a electronilor cu spin antiparalel la momentul localizat. Apare astfel o polarizare negativă a electronilor de conducție, ce produce o interacțiune de schimb caracterizată prin parametrul J_B esențial *negativ*, în opoziție cu efectul interacțiunii de spin s—f(d), analizat în sect. 2.1.

Interacțiunile magnetice în sistem sînt astfel rezultatul balanței celor două contribuții. Semnul integralei efective de schimb J depinde astfel de mărimea relativă a celor doi parametri.

$$J = J_A - J_B$$

în funcție de specificul sistemului putînd predomina una din contribuții-Tabelul III. (pag. 150)

3. Corelațiile între deplasarea Δg_s, lărgimea liniei DH și parametrul efectiv de schimb J.

Presupunem că interacțiunile magnetice în sistemul nostru sînt descrise de Hamiltonianul (3), în care parametrul de schimb va reprezenta valoarea efectivă $J = J_A - J_B$. În Hamiltonian va trebui însă să introducem și termenul corespunzător energiei Zeeman.

În prezența unui cîmp magnetic exterior $\vec{H}$, dirijat după axa z, energia Zeeman este exprimată prin :

$$E = -g_s \mu_B \vec{H} \vec{S}$$

Nivelele energetice permise, în R.P.E. vor fi astfel :

$$E = -S_z \left[g_s \mu_B H_z + \frac{J}{N_0} < \sigma_z > \right]$$

$< \sigma_z >$ fiind valoarea densității electronice presupuse la poziția $\vec{R}_n$. Cum $\chi_e H_z = < \sigma_z > g_e \mu_B$, cu χ_e susceptibilitatea volumică a electronilor de conducție :

$$E = -S_z \mu_B H_z \left(g_s + \chi_e \frac{J}{N_0 g_e \mu_B^2} \right)$$

Deplasarea Δg_s față de valoarea g_s caracteristică ionului în mediu diamagnetic va fi :

$$\Delta g_s = \frac{J \chi_e}{N_0 g_e \mu_B^2} \tag{4}$$

Deoarece : $\chi_e = \frac{1}{2} g_e^2 \mu_B^2 N(E_F)$; $\quad N(E_F) = \frac{3N}{4 E_F}$ (5)

valoarea parametrului efectiv de schimb este :

$$J = \frac{4 N_0}{3 N} E_F \Delta g_s \tag{6}$$

cu N numărul electronilor de conducție pe unitatea de volum și E_F energia Fermi.

Datorită cuplajului între momentul localizat și electronii de conducție, procesele de relaxare au loc între cele două sisteme determinînd o variație liniară cu temperatura a lărgimii liniei DH, analogă cu mecanismul de lărgire Korringa observat prin experiențele N. M. R. în metale :

$$\frac{DH}{T} = \frac{g_s \pi k_B}{\mu_B} \left(\frac{\Delta g_s}{g_s} \right)^2 \tag{7}$$

k_B fiind constanta Boltzman.

4. Efectul interacțiunilor electron-electron asupra valorilor g_s și DH

Deducerea expresiilor (4) și (7) pentru Δg_s și respectiv DH am făcut-o în presupunerea că efectul interacțiunilor electron-electron poate fi neglijat. Experimental însă s-a observat că lărgimea liniei calculate din deplasarea Δg_s, utilizînd o relație de tip Korringa, este cu aproape un ordin de mărime mai mare comparativ cu valoarea experimentală. Această discrepanță este atribuită interacțiunilor între electroni (5).

Chiar la o primă privire apare evident că neglijarea acestor interacțiuni conduce la subestimarea valorii susceptibilității date de (5) și implicit erori în determinarea valorilor J.

Dacă potențialul Coulomb este aproximat printr-o funcție δ, susceptibilitatea dependentă de numărul de undă q și frecvența ω, în aproximația fazelor distribuite haotic:

$$\chi(q, \omega) = \chi_0(q, \omega)\,[1 - v\,\chi_0(q, \omega)]^{-1}$$

unde $\chi_0(q, \omega)$ este susceptibilitatea unei particule independente, iar v este un parametru proporțional cu transformata Fourier a potențialului. Deplasarea Δg_s este proporțională cu susceptibilitatea statică $\chi(0,0) = \chi_s$ și deci:

$$\Delta g_s = \Delta g_0\,[1-\alpha]^{-1} \tag{8}$$

cu: $\alpha = v\chi_s$, și Δg_0 deplasarea lui g_s neafectată de interacțiunile între electroni.

Lărgimea liniei, $\left(\frac{DH}{T}\right)_0$, poate fi exprimată prin:

$$\left(\frac{DH}{T}\right)_0 = \left(\frac{DH}{T}\right) K(\alpha)$$

cu (9)

$$K(\alpha) = (1-\alpha)^2 < [1-\alpha F(q)]^2 >$$

Din cauza efectului de amortizare a lui $F(q)$, mărimea lui $\frac{DH}{T}$ este mai mică decît cea corespunzătoare lui Δg_s^2.

În cazul cînd admitem suprafața Fermi ca sferică cu raza k_F:

$$K(\alpha) = 2(1-\alpha)^2 \int_0^1 [1 - \alpha F(x)]^{-2}\, x\,dx \tag{10}$$

cu: $x = \frac{q}{2\,k_F}$ și: $F(x) = \frac{1}{2}\left[1 + \frac{1-x^2}{2\,x} \ln \frac{(1+x)}{(1-x)}\right]$

Redăm ma jos cîteva valori calculate pentru $K(\alpha)$ în acord cu relația (10)

Tabelul I

α	0	0,200	0,400	0,600	0,800
$K(\alpha)$	1	0,762	0,531	0,313	0,120

5. Forma liniei de rezonanță în metale și determinarea poziției rezonante

Adîncimea de pătrundere a cîmpului de microunde în metal este mică. Pentru $f = 9{,}3$ GHz, $\sigma \approx 10^6 \Omega^{-1}\,\mathrm{cm}^{-1}$ și $\mu \approx \mu_0$; $\delta_s = (\pi f \mu \sigma)^{-\frac{1}{2}} \approx 3\,\mu$, cu mult inferioară grosimii probelor. Fenomenul de rezonanță are deci loc numai la suprafață. Pentru a crește volumul probelor ce participă la rezonanță acestea se mărunțesc, se cern prin site fine (400 mesh) și apoi se înglobează în grăsime siliconică atît pentru a le feri de oxidare cît și pentru a reduce pierderile prin efect skin.

Ca o consecință a efectului skin linia nu mai are o formă simetrică și poziția de rezonanță nu mai coincide cu maximul curbei.

Primele studii supra formei liniei în metale se datoresc lui Dyson (6), forma de linie caracteristică rezonanței în sistemele conducătoare fiind cunoscută sub numele de linie dysoniană. În cazul probelor de formă sferică modelul lui Dyson a fost particularizat de Webb (7).

Forma liniei poate fi privită ca o sumă de forma :

$$F(y) = \chi'(y) + a\,\chi''(y) \text{ cu } J = \frac{h_R}{DH}$$

unde $\chi''(y)$ este derivata curbei de absorbție și $\chi'(y)$ derivata curbei de dispersie. h_R este valoarea cîmpului magnetic avînd ca origine cîmpul de rezonanță, iar DH jumătatea lărgimii părții de absorbție a liniei, la jumătatea intensității.

În fig. 2 prezentăm derivata liniei R.P.E. obținută pentru compusul $GdNi_5$ la 137°K și 9,3 GHz. Remarcăm o bună concordanță cu valorile calculate utilizînd funcția $F(y)$ dată de :

$$F(y) = \frac{1 - 4{,}35\,y - y^2}{(1 + y^2)^2}$$

Prin separarea părții de absorbție de cea corespunzătoare dispersiei se poate determina poziția rezonantă.

O alternativă frecvent utilizată în determinarea poziției rezonante și a valorii DH este cea sugerată de Peter și colab (8). Se consideră linia de rezonanță ca un amestec arbitrar de efecte de absorbție și dispersie în corelație cu poziția rezonantă și lărgimea liniei.

Lărgimea liniei DH și poziția rezonantă δH (fig. 2), pot fi obținute din setul de nomograme

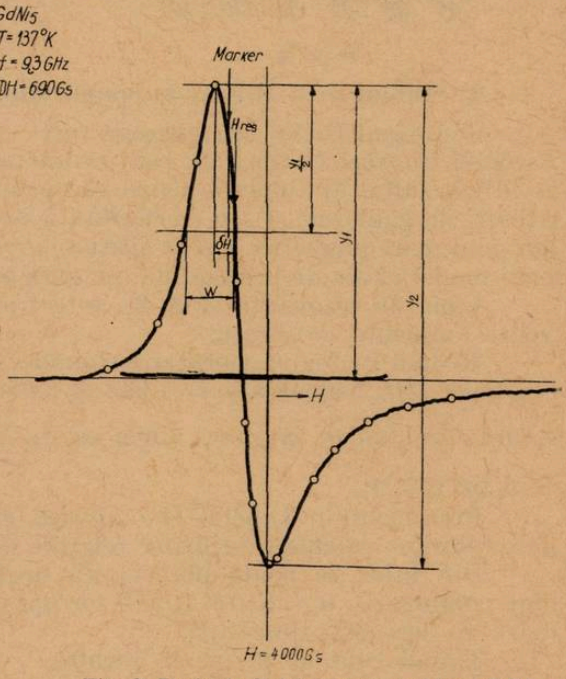


Fig. 2. Derivata liniei de rezonanță a GdN_5 : curba experimentală și puncte calculate în acord cu $F.(y)$

(Fig. 3), atît pentru linii avînd forma inițială lorentziană cît și gaussiană, în funcție de raportul y_1/y_2. În particular pentru cazul prezentat în Fig. 2 linia este îngustată prin schimb și e derivată dintr-o formă lorentziană trunchiată.

Pentru determinarea valorilor g_s va trebui să tinem seama de corecțiile impuse de efectele de demagnetizare, neglijarea lor putînd altera rezultatele măsurătorilor.

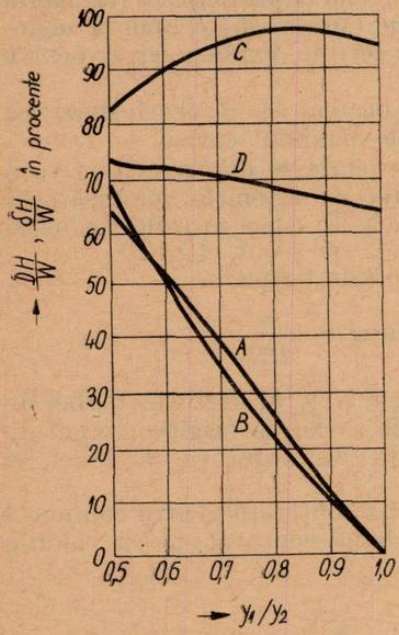


Fig. 3. Nomograme pentru determinarea valorilor δH și DH. Curbele A și C se aplică la linii lorentziene, iar B și D la cele gaussiene.

6. Studiul prin R.P.E. a compusului intermetalic $GdNi_5$

Compusul $GdNi_5$ cristalizează într-o rețea hexagonală de tip $CaCu_5$. Nichelul în acest compus nu este magnetic și are o configurație probabilă $3d^{10}$, rezultat al umplerii benzii 3d de către electronii de conducție contribuiți de gadoliniu. Ca o consecință a acestui fapt sistemul este format din ioni paramagnetici Gd^{3+} și atomi nemagnetici, prezentînd aspectele unui model clasic de interacțiuni magnetice de tip s—f descris în sect.2.1.

Linia de rezonanță (Fig. 2), este tipică sistemelor în care sînt prezente momente localizate.

Redăm în Fig. 4 variația cu temperatura a factorului g_s și a lărgimii liniei DH. Valoarea $g_s = 1{,}944 \pm 0{,}006$ este independentă de temperatură, în timp ce lărgimea liniei crește liniar cu temperatura : $\frac{DH}{T} =$

$$= 6{,}40 \text{ G s/°K} \qquad (9)$$

Prezentăm în Tabelul II o sinteză a rezultatelor experimentale cît și a valorilor calculate utilizînd relațiile deduse precedent.

Din tabel se poate observa că neglijarea corelațiilor interelectronice conduce la o valoare DH/T cu aproape un ordin de mărime mai mare ca cea experimentală.

Ținînd cont de (5) și (9) rezultă :

$$k(\alpha) \approx 0{,}85 \qquad \text{și} \qquad \alpha \approx 0{,}09$$

iar parametrul de schimb efectiv $J = -0{,}01$ eV.

TABELUL II

g_s	$\Delta g_s = g_s - 1{,}992$	k_F^0 Å^{-1}	E_F eV	J eV		DH/T	Gs/K
				calculat din Δg_s	valoarea corectată	experimental	calculat din Δg_s
1,944 ± 0,006	− 0,048 ± 0,006	1,025	4,00	−0,11	−0,01*	6,40	55,20

* Valoare corectată ținînd cont de interacțiunile electron electron.

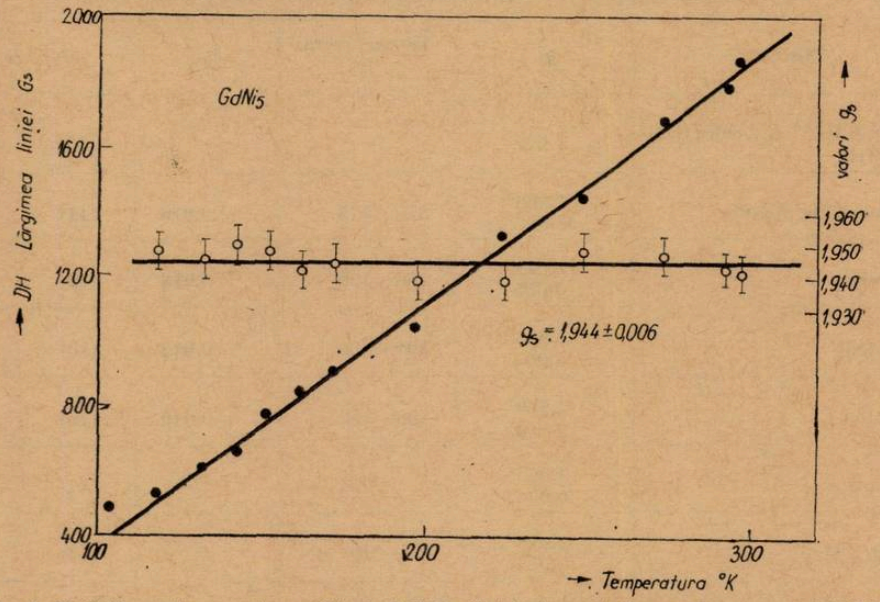


Fig. 4. Variația cu temperatura a lărgimii *DH* a liniei și a valorilor g_s, la compusul $GdNi_5$

Rezultă deci că în cazul compusului $GdNi_5$ contribuția negativă la integrala de schimb depășește polarizarea pozitivă-rezultat al interacțiunilor s—f. Contribuția amestecului *covalent* domină deci în balanța interacțiunilor magnetice în compus.

7. Direcții de cercetare prin metodele R.P.E. a sistemelor metalice

Numărul mare de studii realizate cu metodicile R.P.E. nu ne permite o analiză detaliată a informațiilor obținute în diferite direcții de cercetare. Vom căuta să prezentăm totuși o clasificare a acestor direcții, pentru ca apoi în final să rezumăm unele date privitor la sistemele mai simple studiate prin rezonanță.

În general măsurătorile efectuate cît și studiile teoretice s-au axat pe următoarele probleme :

a. Studiul interacțiunilor magnetice în sisteme conținînd un singur tip de ion paramegnetic, de obicei lipsit de moment orbital

b. Măsurători pe sisteme la care în rețeaua metalului gazdă sînt introduși două tipuri de ioni paramagnetici. În această situație se observă rezonanța unui tip de ion pe cînd prezența celorlalți (cu timp de relaxare scurt) determină efecte indirecte asupra rezonanței primilor.

c. Studii de despicări hiperfine în aliaje diluate. Separarea contribuțiilor *atomice* de cele *covalente*, la integrala de schimb

d. Determinarea parametrilor de amestec între funcţiile de undă localizate şi cele ale electronilor de conducţie.

e. Elaborarea şi verificarea experimentală a unor modele ce descriu interacţiunile magnetice în sisteme metalice.

f. Studiul fenomenelor de relaxare în aliaje.

g. Studii privind forma liniei R.P.E. în sisteme metalice.

TABELUL III

Date obţinute prin RPE asupra unor sisteme conţinînd ioni în stare S

Sistemul	g_s	Temperatura °K	J_{eV}	referinţa
ionul Gd^{3+} în mediu magnetic	1.992			(10)
gadoliniu metalic	$1{,}968 \pm 0{,}007$	370—575	—0,016	(11)
$GdZn_2$	$2{,}029 \pm 0{,}005$	150—300	+0,018	(12)
$GdNi_2$	$1{,}982 \pm 0{,}004$	100—300	—0,030	(13)
GdNi	$1{,}980 \pm 0{,}004$	100—300	—0,040	(13)
$EuAl_4$	$1{,}995 \pm 0{,}004$	296		(14)
$Ag_{0,98}Mn_{0,2}$	$2{,}010 \pm 0{,}005$	20		(15)
$Pd_{0,98}Mn_{0,2}$	$2{,}090 \pm 0{,}010$	20	+0,007	(15)
$Cu_{0,986}Mn_{0,014}$	$2{,}010 \pm 0{,}010$	77		(16)
$Mg_{0,993}Mn_{0,007}$	$2{,}020 \pm 0{,}010$	4	+0,030	(16)

Desigur expunerea noastră nu a putut cuprinde multitudinea de aspecte-rezultat al studiilor teoretice şi experimentale R.P.E. asupra aliajelor. Rezultă totuşi în mod evident importanţa acestor măsurători în întregirea imaginii privind rolul şi natura interacţiunilor magnetice în sisteme metalice.

Sub conducerea prof. I. Ursu se desfăşoară în prezent o activitate susţinută de cercetare în probleme legate de studiul interacţiunilorî în sisteme cu aplicaţii nucleare, probleme strîns corelate cu Programul Nuclear Naţional. Aceasta va permite o mai bună cunoaştere a materialelor nucleare şi perspective noi în domeniul utilizării lor. Menţionăm preocupările în acest domeniu reieşite din lucrările celui de al XVI Congres AMPERE organizat la Bucureşti, în 1970, prilej care a permis o trecere în revistă a celor mai noi direcţii de cercetare prin metodele R.P.E a sistemelor de aliaje discutate mai sus.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

BIBLIOGRAFIE

[1] *J. Owen, M. E. Browne, W. D. Kinght* şi *C. Kittel*, Phys. Rev. *102* 1501 (1956).
[2] *T. Kasuya*, Prog. Theor. Phys. *16*, 45, (1956).
[3] R. *E. Watson, A. J. Freeman*, Phys. Rev. *152*, 566 (1966)
[4] *R. E. Watson, S. Koidé, M. Peter* şi *A. J. Freeman*, Phys. Rev. *139* A 167 (1965).
[5] *T. Moriya*, Journ. Phys. Soc. Jap. *18*, 516 (1963).
[6] *F. I. Dyson*, Phys. Rev. *98*, 349 (1955)
I. Ursu, La résonance paramagnetique éléctronique Paris, Dunod (1968).
[7] *R. H. Webb*, Phys. Rev. *158*, 225 (1967).
[8] *M. Peter, D. Shaltiel, J. H. Wernick, H. J. Williams, J. B. Mock* şi *R. C. Sherwood*, Phys. Rev. *126*, 1395 (1962).
[9] *E. Burzo, I. Ursu*, Solid State Com. 9,2289 (1971)
[10] *J. Lacroix*, Helv. Phys. Acta *30*, 374 (1957).
[11] *E. Burzo, F. Domşe*, Rev. Roum. Phys. (va apărea)
[12] *D. Debray, E. Ryba*. Journ. Phys. *32*, Cl—1 130 (1971).
[13] *I. Ursu, E. Burzo*, Int. Symp. of Magnetic Rez., Israel 1971.
[14] *J . H. Wernick, H. J. Williams, A. S. Gossard*, J. Phys. Chem. Solids *28*, 271 (1967).
[15] *D. Shaltiel, J. H. Wernick*, Phys. Rev. *136*, **A** 245 (1964).
[16] *J. Owen, M. E. Browne, V. Arp., A. F. Kkip.* J. Phys. Chem. Solids, *2*, 85 (1957).

EFECTUL MÖSSBAUER ŞI APLICAŢIILE SALE

Dr. *DĂNILĂ BARB*, dir. adj. ştiinţific I.F.A.

1. Fenomenul rezonanţei nucleare gama.

Este bine cunoscut faptul că în diferite regiuni ale spectrului electromagnetic se efectuează cercetări spectroscopice cu ajutorul radiaţiei de rezonanţă. Astfel este cazul domeniului de frecvenţă corespunzător luminii vizibile, a radiofrecvenţelor şi a mîcroundelor.

Datorită descoperirii lui Mössbauer [1] efectuată în anul (1958) a fost posibil să se dezvolte o spectroscopie de rezonanţă pentru domeniul de frecvenţă a radiaţiei gama de joasă energie, aşa numită-emisie respectiv absorbţie de rezonanţă nucleară fără recul a radiaţiei gama—ce a primit numele de *efect Mössbauer* sau *rezonanţa nucleară gama*. Efectul Mössbauer reprezintă astfel o nouă formă de spectroscopie de înaltă rezoluţie care face uz de radiaţia gama în domeniul de energie de la ~ 10 la circa 100 keV.

Emisia şi absorbţia de rezonanţă a radiaţiei gama este analoagă cu fenomenul corespunzător din optică, ambele putînd fi explicate în modul următor. Un foton emis în tranziţia de la starea iniţială excitată E_I la cea fundamentală E_F, induce o absorbţie de rezonanţă într-un atom sau

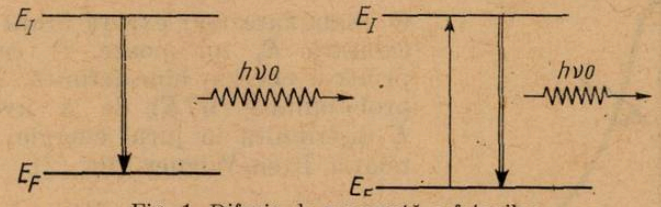


Fig. 1. Difuzia de rezonanţă a fotonilor.

nucleu identic. Atomul sau nucleul astfel excitat revine la starea fundamentală cu o constantă de dezintegrare caracteristică nivelului excitat, emiţîndu-se o cuantă de aceeaşi frecvenţă (fig. 1). Procesele de absorbţie şi reemisie sînt independente.

Fenomenul de absorbție optică a fost pus în evidență de către Wood în 1904 [2] care, utilizînd lumina galbenă a atomilor de sodiu a demonstrat rezonanța în sistemele atomice.

S-ar părea că problemele în rezonanța optică și cea nucleară sînt foarte asemănătoare. Cu toate acestea, la o examinare mai atentă vom observa că există o deosebire esențială între absorbția de rezonanță a radiației corespunzătoare luminii vizibile și cea corespunzătoare radiației gama, ceea ce face ca în experimentele nucleare să apară trăsături calitative noi. La tranzițiile optice este vorba de trecerea electronilor de pe păturile exterioare ale învelișului atomic, pe cînd la tranzițiile gama este vorba de variații ale stărilor energetice ale nucleului. În ambele cazuri sînt absorbite sau emise cuante ale cîmpului electromagnetic, dar cuantele gama au o energie mult mai mare decît fotonii produși în învelișul atomic.

Înainte de apariția lucrărilor lui Mössbauer, analiza radiației gama era făcută de obicei pentru cazul unui atom liber. Să considerăm un atom sau un nucleu izolat de masă M, inițial în repaus și să notăm cu $\vec{p}_\gamma$ momentul cuantei gama emise, iar prin $E_0 = E_I - E_F$, separarea energetică între cele două nivele. Din legea conservării momentului rezultă că la emisia unei cuante gama de către nucleul atomului considerat $\vec{p}_\gamma = -\vec{P}$, unde $\vec{P}$ este impulsul primit de nucleu la emisia cuantei game. Prin urmare energia de recul a atomului sau nucleului va fi:

$$E_R = \frac{P^2}{2M} = \frac{p_\gamma^2}{2M} = \frac{E_{\gamma e}^2}{2Mc^2} \tag{1}$$

unde $E_{\gamma e}$ este energia cuantei emise. Din legea conservării energiei rezultă $E_0 = E_{\gamma e} + E_R$. Întrucît energia de recul E_R este foarte mică în comparație cu $E_{\gamma e}$, din (1) se obține:

$$E_R \cong \frac{E_0^2}{2Mc^2} \tag{2}$$

relație ce exprimă dependența energiei de recul de separarea energetică între cele două nivele. Rezultă deci că energia cuantei emise $E_{\gamma e}$ nu este cea dată de separarea energetică E_0 dintre nivele, ci datorită reculului, va fi mai mică:

$$E_{\gamma e} = E_0 - E_R \tag{3}$$

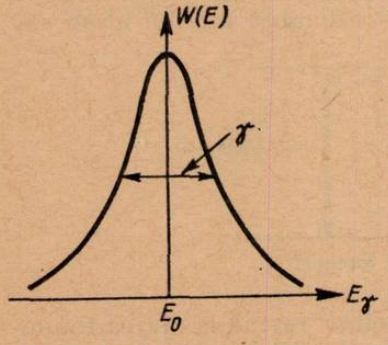


Fig. 2. Probabilitatea de excitare în funcție de energia radiației de rezonanță

O examinare mai exactă arată că starea excitată E_I nu poate fi caracterizată printr-o energie bine definită E_0, ci de o probabilitate $W(E)$ de a avea energia E distribuită în jurul energiei E_0 dată de relația Breit-Wigner (fig. 2).

$$W(E) = \frac{\gamma^2/4}{(E - E_0)^2 + \gamma^2/4} \tag{4}$$

unde γ este lărgimea naturală a liniei legată de timpul τ de viață a stării excitate prin relația $\gamma\tau = \hbar$.

Prin urmare, dacă se ţine cont de recul, cuanta emisă în tranziţia de la E_1 la E_F se prezintă sub forma unei distribuţii centrate în jurul lui $E_0 - E_R$, avînd forma liniei naturale de lărgime γ.

În cazul unei experienţe de absorbţie de rezonanţă cînd o cuantă de energie $E_{\gamma e}$ şi momentul $\vec{p}_\gamma$ întîlneşte un nucleu absorbant de masă M, care iniţial este în repaus, momentul $\vec{p}_\gamma$ al cuantei este complet transferat nucleului absorbant. Pentru a excita nivelul de energie E_0 al nucleului absorbant, este necesar ca radiaţia incidentă să posede o energie :

$$E_{\gamma a} = E_0 + E_R \tag{5}$$

Aşadar, datorită reculului, energia $E_{\gamma e}$ a cuantei emise de un nucleu emiţător, diferă de cea ncesară nucleului absorbant $E_{\gamma a}$, pentru a se produce absorbţia de rezonanţă (fig. 3).

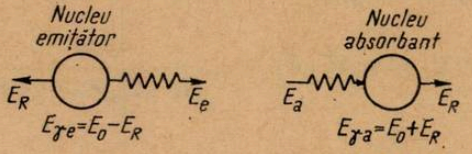


Fig. 3. Energia $E_{\gamma e}$ a cuantei gama emise de un nucleu emiţător, ce reculează liber, şi energia $E_{\gamma a}$ necesară pentru absorbţie.

Rezonanţa se poate produce numai dacă cuantele incidente posedă atît o energie necesară pentru a atinge starea E_1, cît şi energia de recul E_R, ce trebuie furnizată nucleului absorbant. Rezonanţa se realizează prin urmare numai pentru partea de suprapunere a liniilor de emisie şi de absorbţie, după cum se vede din fig. 4, adică, dacă se îndeplineşte condiţia :

$$2E_R \ll \gamma \tag{6}$$

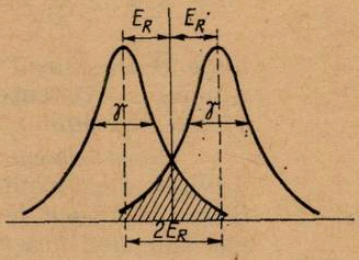


Fig. 4. Suprapunerea a două linii de rezonanţă deplasate datorită reculului

Pentru tranziţii nucleare ce prezintă interes în efectul Mössbauer, lărgimea liniei este situată în intervalul : $10^{-10}\text{eV} < \gamma < 10^{-4}\text{eV}$, iar energiile de recul sînt cuprinse în domeniul $10^{-3}\text{eV} < E_R < 10\text{eV}$. Se observă deci că relaţia (6) nu este îndeplinită, datorită valorii mari a reculului. În cazul tranziţiilor optice această relaţie este întotdeauna îndeplinită. Să comparăm spre exemplificare energiile de recul în două cazuri tipice : tranziţia corespunzătoare luminii galbene emise de sodiu la dezexcitare şi tranziţia nu-

cleară 23, 8 KeV în cazul Sn^{119}. Dacă lărgimile liniilor de emisie în cele două cazuri sînt practic egale $\gamma_{Na} = 4{,}4 \times 10^{-8}$ eV şi $\gamma_{Sn^{119}} = 2{,}2 \times 10^{-8}$ eV, energiile de recul calculate cu formula (2) sînt mult diferite, fiind 1×10^{-10}eV şi respectiv $2{,}5 \times 10^{-3}$eV. Mărimea $2E_R$ în cazul atomic este deci atît de mică încît condiţia (6) este cu siguranţă îndeplinită

Dificultăţile întîlnite în observarea absorbţiei de rezonanţă nucleară gama se datoresc distanţelor mari între centrele liniilor gama de emisie şi absorbţie, ceea ce conduce la secţiuni eficace extrem de mici pentru procesul de absorbţie la rezonanţă. Asemenea probleme nu apar în absorbţia de rezonanţă optică unde energiile de recul mici ce intervin în procesele de emisie şi absorbţie, nu pot produce o distanţare apreciabilă a celor două linii.

După cum se ştie, secţiunea eficace de absorbţie sau de emisie a unei radiaţii gama de energie E (omitem de acum înainte indicele γ) este dată de formula Breit-Wigner :

$$\sigma(E) = \sigma_0 W(E) = \sigma_0 \frac{\gamma^2/4}{(E-E_0)^2 + \gamma^2/4} \tag{7}$$

Aici s-a notat :

$$\sigma_0 = \frac{\lambda^2}{2\pi} \frac{1+2I_e}{1+2I_g} \cdot \frac{1}{1+\alpha} \tag{8}$$

unde I_e şi I_g sînt spinii nucleari ai stării excitate şi respectiv fundamentale, iar α este coeficientul de conversie internă al tranziţiei gama. Dacă se presupune o distribuţie maxwelliană a vitezelor, se poate arăta că pentru o sursă de radiaţii γ fixă şi un absorbant de radiaţie gama tot fix, dependenţa secţiunii eficace $\sigma(E)$ de temperatură — formula (7) — poate fi pusă sub forma :

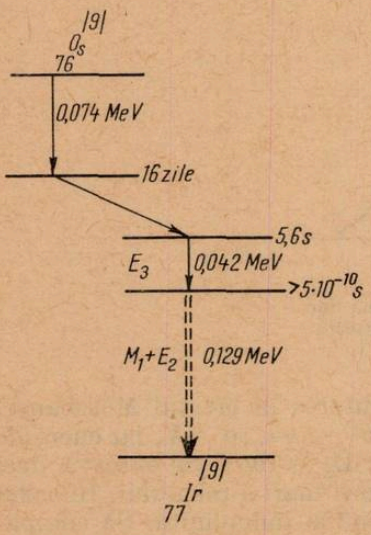


Fig. 5. Schema de dezintegrare a izotopului Os^{191}.

$$\sigma = \sigma_0 \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\gamma}{\overline{D}} \exp\left(-\frac{E_R}{2k_B T}\right) \tag{9}$$

unde $\overline{D}$ are sensul unei lărgiri Doppler ca urmare a existenţei unei distribuţii de viteze a atomilor sursei emiţătoare.

Concluzia care rezultă din relaţia (9) privind dependenţa de temperatură a secţiunii eficace de absorbţie a fost infirmată în mod neaşteptat de experimentele efectuate de Mössbauer în 1957 la Institutul Max Planck pentru cercetări medicale din Heidelberg. Mössbauer a măsurat absorbţia gama de 129 keV a Ir^{191} folosind un cristal natural de iridiu în calitate de absorbant gama. Drept sursă a folosit Os^{191} care suferă o dezintegrare cu un timp de înjumătăţire de 16 zile (conform schemei reprezentate în fig. 5) la o stare de viaţă lungă (5,6 sec) a Ir^{191}, cu energia de 171 keV. Se emite o radiaţie gama de

42 keV şi nucleul ajunge în prima sa stare excitată (129 keV) care are un timp de viaţă de $1{,}4 \times 10^{-10}$ sec cu o lărgime a nivelului de $3{,}2 \times 10^{-6}$ eV.

Utilizînd un dispozitiv experimental simplu, Mössbauer a obţinut un rezultat neaşteptat şi anume că secţiunea eficace creşte odată cu scăderea temperaturii, rezultat ce contrazice previziunile clasice conforme cu relaţia (9)

Interpretarea acestui rezultat a fost dată în anul 1958 într-un articol publicat de Mössbauer în Zeitschrift für Physik [7/ care marchează începutul cercetărilor de efect Mössbauer. Marele merit al lui Mössbauer a fost acela de a analiza corect acest fenomen, plecînd de la teoria lui Lamb [8] pentru captura de rezonanţă a neutronilor termici, publicată în anul 1939. Pentru descoperirea sa, lui Mössbauer i s-a decernat premiul Nobel pentru fizică pe anul 1961.

Totul se petrece ca şi cum emisia şi absorbţia de radiaţie gama s-ar face fără să existe un recul al nucleelor ce intervin în proces. În absenţa pierderii de energie prin recul, liniile de emisie şi de absorbţie nu mai sînt deplasate şi suprapunerea lor provoacă un efect de rezonanţă mare. Dar acest lucru înseamnă că are loc un fenomen de transfer de moment care nu este însoţit de un transfer de energie. Trebuie să menţionăm că astfel de fenomene au fost deja cunoscute în alte domenii ale fizicii înainte de descoperirea lui Mössbauer. Ca exemplu poate servi difuzia coerentă a razelor X. Într-un fascicul de raze X difuzate, o fracţiune a intensităţii totale va avea aceeaşi frecvenţă ca şi radiaţia incidentă. Această fracţiune este cunoscută sub numele de factor Debye-Waller. Mai amintim de asemenea difuzia coerentă a neutronilor termici în cristale unde are loc un fenomen asemănător.

După cum am văzut mai sus, energia de recul E_R depinde de masa nucleului emiţător. În principiu, energia de recul ar putea fi oricît micşorată dacă s-ar fixa rigid nucleul emiţător într-o masă M_{ef} infinit de mare. Dacă presupunem că am reuşit acest lucru energia de recul este dată de :

$$E_R = \frac{E^2}{2 M_{ef} c^2} \tag{10}$$

şi dacă masa efectivă este suficient de mare se poate realiza $E_R \ll \gamma$, fiind astfel îndeplinită condiţia de rezonanţă.

Efectul Mössbauer constă deci în realizarea unui proces rezonant de emisie, absorbţie (sau împrăştiere) a fotonilor gama, care se produce prin evitarea preluării recului de către nucleele implicate în proces. Această evitare a preluării recului se poate face prin rigidizarea nucleelor într-o stare de agregare densă — de exemplu într-o reţea cristalină.

Evitarea preluării recului nu poate fi explicată prin mecanica clasică, întrucît procesele gama sînt întotdeauna însoţite de apariţia unui impuls şi a unei energii de recul, cantităţi care nu pot dispare, ci sînt supuse legilor de conservare. Aceste mărimi avînd o natură cuantică se transmit în întregime cristalului fie direct fie indirect.

Interpretarea cuantică a efectului Mössbauer arată că în cazul în care nucleul emiţător este legat rigid într-un cristal, la emisia cuantei gama impulsul de recul este preluat de centrul de masă al cristalului, iar energia de recul de ansamblul de oscilatori ai cristalului, modificîndu-se energia sa internă. Există o fracţiune de emisie gama (sau de absorbţie) fără recul, aceea pentru care E_R este mai mică decît distanţa pînă la primul nivel de energie fononică. Să considerăm de exemplu un solid Einstein

caracterizat prin $3N$ moduri de vibrație cu frecvența ω și să presupunem că energia medie de recul $<E_R>$ este mai mică decît energia fononică. În acest caz tranzițiile nucleare vor fi doar foarte rar asociate cu tranziții fononice simultane, ceea ce conduce la o probabilitate mare pentru tranzițiile fără recul. În fig. 6 este ilustrată fracțiunea fără recul în modelul Einstein. Fracțiunea f a dezintegrărilor nu produce nici o schimbare în starea cuantică a rețelei. În cazurile $1-f$ se transferă o energie $\hbar\omega$. Procesele bi și multifononice pot fi neglijate.

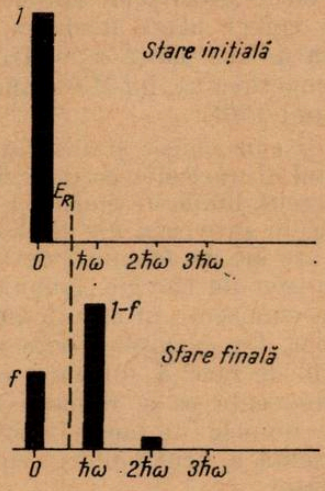


Fig. 6. Fracțiunea fără recul în modelul Einstein.

Aceste considerații calitative se aplică de asemenea și în cazul unui cristal real dacă se înlocuiește ω cu o frecvență caracteristică a spectrului de vibrație a cristalului, de obicei de ordinul $k_B\theta_D/\hbar$ unde θ_D este temperatura Debye. Din cele de mai sus rezultă că efectul Mössbauer are o natură cuantică și poate fi explicat corect numai dacă se ține cont de cuantificarea vibrațiilor atomilor rețelei cristaline.

Pentru fracțiunea Mössbauer fără recul a efectului Mössbauer, este valabilă expresia care reprezintă factorul Debye-Waller, cunoscut din experiențele de difuzie a razelor X:

$$f = e^{-k^2<x^2>} \tag{11}$$

unde $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ (λ este lărgimea de undă a radiației), iar $<x^2>$ este componenta mediată a patratului amplitudinii vibraționale a nucleului ce emite în direcția radiației gama. Spre exemplificare valori caracteristice ale lui f sînt 0,91 pentru radiația gama de 14,4 keV a Fe^{57} și 0,06 pentru radiația gama de 129 keV a Ir^{191}. Reținem că pentru un k dat, f depinde în mod esențial de amplitudinea de vibrație a atomului emițător.

2. Principiul de măsurare al efectului Mössbauer.

După cum am menționat în § 1, lărgimea naturală a liniei cuantelor gama emise fără recul este extrem de mică, de exemplu distribuția spectrală a radiației gama de 14,4 keV a Fe^{57} este în jur de 5×10^{-9} eV, ceea ce conduce la un raport γ/E_γ de ordinul a 3×10^{-13}. De aceea, schim-

bări foarte mici ale energiei cuantelor gama emise sînt suficiente pentru a deranja condiția de rezonanță. Pentru a obține modificări foarte mici ale energiei cuantelor gama, în scopul realizării rezonanței, Mössbauer a avut ideea de a folosi efectul Doppler. Referindu-ne la cazul de mai sus al Fe^{57} înseamnă că mișcări Doppler cu viteze în domeniul zecimilor de mm/sec pot schimba complet îndeplinirea condițiilor de rezonanță.

Există două aranjamente posibile de observare exprimentală a efectului Mössbauer: tehnica transmisiei și cea a împrăștierii de rezonanță. În primul caz, se observă transmisia radiației gama printr-un absorbant, viteza relativă sursă-absorbant fiind schimbată într-un domeniu potrivit pentru a se obține efectul sub forma absorbției de rezonanță. În cazul împrăștierii de rezonanță (sau reemisia) aceasta poate fi observată la diferite unghiuri de împrăștiere. În fig. 7 este reprezentat aranjamentul experimental de transmisie și de împrăștiere.

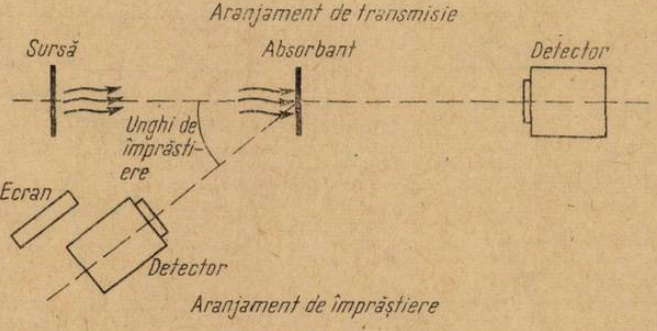


Fig. 7. Aranjamentul experimental de transmisie și de împrăștiere Mössbauer

În principiu, măsurarea efectului Mössbauer se face în modul descris mai jos.

Un contor gama (ce servește drept detector) — de exemplu un cristal scintilator cu un fotomultiplicator — detectează cuantele gama ce sînt emise de sursă și au trecut prin absorbant; ultimul poate fi mișcat cu o viteză relativă $+v$, $-v$, față de sursă. Mișcarea absorbantului cu viteza v înseamnă variația energiei cuantei gama incidente în raportul $\Delta E/E = \pm v/c$ prin urmare, dacă ΔE este comparabil cu γ, are loc o schimbare a condițiilor în care are loc absorbția.

Experimental se determină numărul de pulsuri în detector, N, în funcție de viteza v, indicîndu-se așa numitul spectru de viteză. Mișcarea relativă sursă-absorbant relalizează o baleiere a energiei cuantelor gama, explorîndu-se în acest fel spectrul de linii al absorbantului sau a sursei.

Echipamentul de bază pentru observarea efectului Mössbauer se compune în esență din următoarele: o sursă de radiații, un absorbant, un sistem care realizează mișcarea relativă dintre sursă și absorbant și un detector de radiație. Prin urmare, din punct de vedere al metodicii experimentale avem de a face cu probleme tipice de măsurare a radiației gama de joasă energie și cu probleme de realizare a unor viteze cu o variație dată în timp.

În prezent se cunosc peste 40 de elemente Mössbauer, peste 70 de izotopi Mössbauer, iar numărul tranzițiilor Mössbauer este aproape de

90. Dintre izotopii Mössbauer s-a dovedit că prezintă proprietăți optime pentru aplicații, izotopii Fe^{57}, Sn^{119}, Te^{125}, Au^{197}, Sb^{121}, precum și o serie de izotopi ai pămînturilor rare și ai actinidelor.

3. Interacțiuni hiperfine în efectul Mössbauer.

Datorită faptului că în majoritatea cazurilor lărgimile naturale ale liniilor gama asociate cu tranzițiile fără recul sînt mici în comparație cu energiile caracteristice de interacțiune ale nucleelor cu electronii lor vecini, interacțiuni foarte mici între nucleu și electronii orbitali care nu pot fi observate direct prin alte metode se manifestă foarte marcant în spectrul Mössbauer. Sectrul de rezonanță nucleară gama prezintă astfel o structură hiperfină a cărei cercetare conduce la determinarea unor parametri atomici și nucleari, consitituind baza pentru aplicațiile tehnicii efectului Mössbauer.

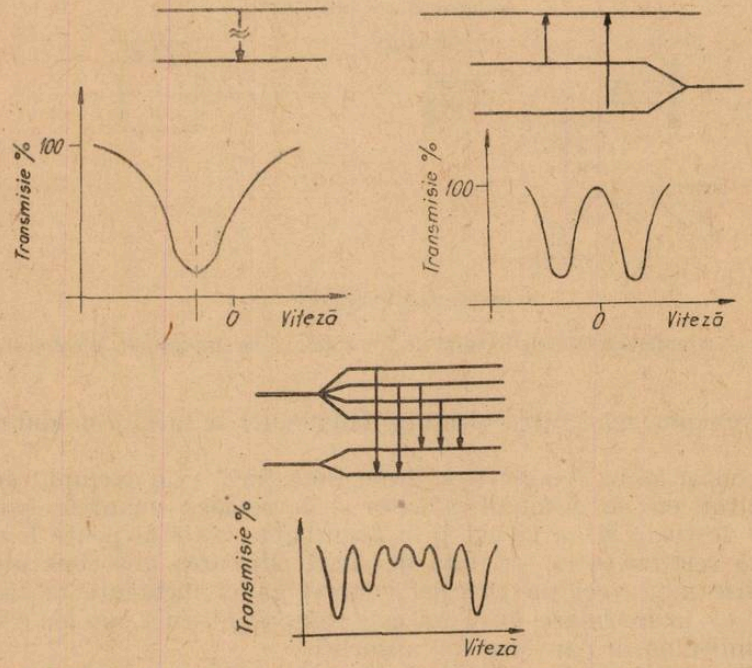


Fig. 8. Exemple tipice de despicări și deplasări ale liniilor gama datorită interacțiunilor hiperfine

a) Deplasarea izomeră
b) Interacțiune de cuadrupol electric.
c) Interacțiune magnetică hiperfină.

În tabelul I sînt reprezentate schematic interacțiunile hiperfine ce intervin în efectul Mössbauer, iar în fig. 8 sînt date exemple tipice de despicări ale liniilor gama datorită interacțiunilor hiperfine evidențiindu-se aspectul spectrelor Mössbauer în cazul prezenței diferitelor interacțiuni hiperfine la nucleul de Fe^{57}.

Informațiile obținute din studiul interacțiunilor hiperfine electrice și magnetice care se manifestă în spectrul Mössbauer, cele referitoare la densitatea sarcinii electrice la nucleu $\rho(0)$, componentele gradientului

TABELUL I

Reprezentare schematică a interacțiunilor hiperfine

Factor de stare solidă	Cîmp magnetic	Gradientul cîmpului electric	Densitatea sarcinii electronilor la locul nucleului
	↓	↓	↓
Interacțiune	$\Delta E = \mu H$	$+ \quad Q \nabla E$	$+ \quad \text{const} < R^2 > \varrho(0)$
	↑	↑	↑
Factor nuclear	Moment magnectic nuclear	Moment cuadrupolar nuclear	Valoarea medie a patratului razei sarcinii nucleare
	Interacțiunea magnetică hiperfină	Interacțiunea de $+$ cuadrupol electric	$+$ Deplasarea izomeră

de cîmp electric ∇E, sau cîmpul magnetic efectiv la nucleu H, pot servi pentru interpretarea unor proprietăți ale solidelor cu largi aplicații în fizică, chimie, biologie etc.

4. Aplicațiile efectului Mössbauer.

În cele ce urmează vom trece în revistă unele aplicații ale efectului Mössbauer.

Cele mai multe aplicații ale metodei de rezonanță nucleară gama de absorbție sau împrăștiere se bazează pe faptul că această metodă pune la dispoziție linii gama care posedă o lărgime foarte apropiată de cea naturală. În rezoluție efectul Mössbauer întrece toate metodele spectrometrice cunoscute pînă în prezent întrucît el poate să măsoare variații relative ale energiei, mai mici decît de exemplu pentru cazul Fe^{57} de $3 \cdot 10^{-13}$. Lărgimile naturale ale liniilor gama asociate cu tranzițiile fără recul sînt în multe cazuri mai înguste decît despicările hiperfine nucleare tipice. De aceea spectrul de rezonanță gama fără recul prezintă (după cum am văzut în § 3) în astfel de cazuri o structură hiperfină, a cărei cercetare constituie baza pentru majoritatea aplicațiilor de efect Mössbauer. Prin urmare aplicațiile efectuate Mössbauer rezidă în informațiile care se pot obține din măsurarea factorului Debye-Waller, informații ce se referă la vibrația atomului emițător și cele ce se obțin din analiza structurii hiperfine a spectrelor. În cele ce urmează vom trece în revistă, fără a intra în detalii, o serie din multiplele aplicații pe care efectul Mössbauer le-a deschis în numeroase domenii ale fizcii, chimiei, biofizicii și tehnicii, descrise într-o serie de lucrări de sinteză [3—7].

a) **Aplicații în fizică nucleară.** — determinarea timpului mediu de viață a stării excitate; — determinarea momentelor magnetice nucleare a stării fundamentale și excitate; — determinarea momentelor cuadrupolare electrice a stării fundamentale și excitate nucleare;

— variația razei nucleare în stare excitată față de starea fundamentală.

b). **Aplicații în fizica solidului.**

— determinarea cîmpului magnetic creat de învelișul electronic al atomului, la nucleu; — determinarea gradientului de cîmp electric creat de electronii atomului și de vecinătatea sa; — determinarea densi-

tăţii de sarcină electronică la nucleu; — studiul proprietăţilor magnetice ale metalelor, compuşilor intermetalici, aliajelor, feritelor, feroelectricilor, al impurităţilor atomice în cristale etc; — studiul tranziţiilor de fază; — studiul dinamicii reţelei cristaline; — cercetarea defectelor de iradiere în solide; — studiul fenomenelor de relaxare în cristale.

c) **Aplicaţii în fizica generală şi inginerie.** — verificarea echivalenţei dintre forţa inerţială şi forţa gravitaţională; — punerea în evidenţă a deplasării termice spre roşu; — confirmarea prezicerii teoriei lui Einstein prin demonstrarea creşterii energiei unei cuante gama ce cade în cîmpul gravitaţional al pămîntului; — măsurători precise de viteze, deplasări, acceleraţii, presiuni înalte, temperaturi scăzute.

d) **Aplicaţii în chimie şi biofizică.** — determinarea naturii legăturilor chimice; — determinarea stării de valenţă a diferiţilor ioni; — studiul polimerilor, substanţelor amorfe, sticlelor etc; — cinetica reacţiilor chimice; — consecinţele chimice ale transformărilor nucleare; — analize chimice; — studiul hemoglobinei, enzimelor, acizilor nucleici, proteinelor, etc.

Este foarte dificil să se enumere toate aplicaţiile şi posibilităţile de aplicare ale efectului Mössbauer, care au apărut pînă în prezent în cîteva mii de articole originale. Este realmente dificil de a da un alt exemplu de un fenomen care să aibă o aplicaţie atît de universală ca efectul Mössbauer.

Cercetări în domeniul efectului Mössbauer se efectuează în conformitate cu prevederile Programului Nuclear Naţional la Institutul de Fizică Atomică în laboratoarele de „interacţiunea radiaţiei cu substanţa" şi „spectroscopie nucleară" şi la Universitatea din Bucureşti la Facultatea de Fizică. Menţionăm în deosebi cercetările efectuate în domeniul intensităţii tranziţiei Mössbauer şi al aplicaţiilor în studiul proprietăţilor fizice ale oţelurilor şi feritelor, precum şi al cercetării defectelor de iradiere în solide. Este de aşteptat că aplicaţiile efectului Mössbauer se vor extinde şi mai mult în anii următori în numeroase laboratoare din ţara noastră.

BIBLIOGRAFIE

[1] *R. L. Mössbauer*, Z. Physik, 151, 124 (1958)
[2] *R. W. Wood*, „Physical Optics", Mac Millan, New York, 1954
[3] *H. Frannenfelder*, „The Mössbauer Effect, W. A. Benjamin Inc. New York, 1962
[4] *A. Abragam*, L'effect Mössbauer, Gordon and Breach, New York, 1964
[5] *H. Wegener*, Der Mössbauer Effect und seine Anwendungen in Physik und Chemie, Bibliographisches Institut, Mann-Heim, 1965
[6] *V. S. Shpineli*, Rezonans gama lucei v kristalah, Nauka, Moskva 1969
[7] *D. Barb*, Efectul Mössbauer şi aplicaţiile sale, Ed. Academiei 1971 (în curs de publicare).
[8] *W. F. Lamb*, Phys. Rev. 55, 190(1939).

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

CĂTRE COLABORATORII NOȘTRI,

Articolele, notele și orice materiale destinate publicării în Revista de Fizică și Chimie seria A trebuie să fie redactate clar și concis (maximum 10 pagini dactilografiate la două rînduri) în două exemplare, însoțite de figuri desenate separat de text, cît mai sugestive, de preferință în tuș pe calc. Fotografiile trebuiesc execuțate în contrast puternic alb-negru. Figurile și fotografiile trebuiesc trimise de asemenea în două exemplare.

Articolele trebuiesc semnate (dactilografiat) imediat sub titlu împreună cu titlul didactic și localitatea autorului.

Pe ultima pagină, pe ambele exemplare trebuie scrisă complet adresa autorului.

În același plic cu materialul colaboratorii noștri sînt rugați să introducă și o carte poștală cu adresa proprie (la destinatar) pentru a ne ajuta în promptitudinea răspunsului.

Materialele ne publicate nu se restituie autorilor.

Pe adresa redacției primim propunerile și sugestiile Dvs. cu privire la tematica Revistei, note critice asupra articolelor publicate pînă acum.

Dorim ca Revista de Fizică și Chimie să vă fie de un real folos în activitatea Dvs. științifică și didactică.

Pentru a veni în sprijinul cititorilor care doresc să-și procure numere mai vechi din RFC, anunțăm că se mențin în vînzare, un an de la apariție, cîteva exemplare din fiecare număr la magazinele de anticariat ale Direcției de Expediere a Presei. Dăm adresa lor:

București: Bd. Magheru nr. 18 sector I; Cluj: Str. Dr. Petru Groza nr. 32; Iași: Piața Unirii nr. 7; Timișoara: Str. 9 Mai nr. 3.

Pentru a vă asigura cu regularitate revista, și a avea completă colecția, abonați-vă pe o perioadă mai îndelungată.

Costul unui abonament anual lei 36.

Costul unui abonament pe 6 luni lei 18.

Comitetul de Redacție

I. P. „Informația" c. 1183

Index 43 459

Lei 3

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL IX

5

MAI 1972
RFCABV 9 (5) 161–200 (1972)

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI–46 TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag

Ing. fizician *Flaviu Domșa*, I.F.A. București

1. Aparatură experimentală în spectroscopia R.P.E 161

Cercetător *R. Baican*, I.F.A. București

2. Sensibilitatea spectrometrelor R.P.E 172

Lector Dr. *Dinu Zăvoianu*, București

3. Mecanismele de reacție în chimia organică. 180

Prof. *Dan Milcoveanu*, Hunedoara

4. Demonstrarea consecventă și pedagogică a ecuației generale de mișcare a fluidelor reale 186

Prof. Dr. *E. F. Rothenstein*, Timișoara

5. Asupra conceptului de transformare simplă 190

Pentru clasele speciale de fizică

Prof. Dumitru Manda, Giurgiu

6. Dispersia luminii prin refracție 194

Lecții moderne de fizică

Prof. *Iulian Buzu*, Roșiorii de Vede

7. Lecție de fizică la anul II real 199

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, conf. univ.; **Teodor Bohățiel**, lector univ.; **Simion Bulgărea**, prof. **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicolae Martalogu**, conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof. **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (*m. c.* Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Volumul IX, nr. 5 Mai 1972

APARATURĂ EXPERIMENTALĂ ÎN SPECTROSCOPIA R.P.E. *

Ing. fizician, *DOMŞA FLAVIU*, IFA Bucureşti

Pentru a se pune în evidenţă rezonanţa paramagnetică electronică sînt necesare următoarele elemente: sistemul de spini, cîmpul magnetic pentru ordonarea sistemului de spini şi cîmpul electromagnetic de radiofrecvenţă care interacţionează cu sistemul de spini. Spectrometria R.P.E. se bazează pe măsurarea absorbţiei stimulate care are loc atunci cînd un sistem de spini plasat într-un cîmp magnetic este iradiat cu o frecvenţă adecvată. Absorbţia de energie de la cîmpul electromagnetic devine netă atunci cînd există o diferenţă între populaţiile a două nivele energetice diferite.

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right) \tag{1}$$

$$\Delta E = h\nu = g\beta H \tag{2}$$

unde N_1, N_2 sînt populaţiile nivelelor avînd energia E_1, respectiv E_2, h este constanta lui Plank, k este constanta lui Boltzman, T temperatura în grade Kelvin, ν frecvenţa radiaţiei, g factorul de despicare spectroscopică, β magnetonul lui Bohr, H cîmpul magnetic.

Interacţiunile care au loc în probă tind să păstreze echilibrul termic caracterizat prin $N_1 > N_2$, iar cîmpul electromagnetic tinde să egalizeze populaţiile: $N_1 = N_2$. Cînd acţiunea cîmpului electromagnetic încetează, echilibrul termic se restabileşte cu o viteză determinată de procesele de relaxare din probă. Din formula (1) rezultă că pentru a mări raportul N_2/N_1 şi deci semnalul de absorbţie, este nevoie să se micşoreze T sau să se mărească H. Valorile practice ce se pot obţine pentru cîmpul magnetic, determină gama de frecvenţe de lucru pentru spectrometria R.P.E în domeniul microundelor. Din formula (2) se pot deduce şi cele două modalităţi de punere în evidenţă a unei linii R.P.E. Fie se păstrează frecvenţa ν a cîmpului electromagnetic constantă şi se variază liniar cîmpul magnetic H, fie se variază frecvenţa şi se menţine cîmpul H constant. Din considerente practice în spectrometria R.P.E. se foloseşte prima metodă.

Ca şi în celelalte forme de spectrometrie de absorbţie, informaţiile conţinute de spectrele RPE sînt determinate de localizarea, amplitudinea şi forma benzilor de absorbţie. Localizarea benzilor de absorbţie dă informaţii directe asupra factorului de despicare spectroscopică. Amplitudinea benzilor de absorbţie dă informaţii directe asupra numărului de spini conţinuţi în probă. Forma liniei de absorbţie interesează atît ca configura-

* În continuarea seriei de articole realizate de I.F.A. asupra problemelor de rezonanţă.

ţie matematică cît şi ca număr de componente de structură fină sau hiperfină. Forma liniei este determinată de tipul interacţiunilor între sistemul de spini, iar lărgimea ei depinde de mărimea acestor interacţiuni şi de timpul de relaxare.

Şi spectrometrele RPE conţin cele patru elemente esenţiale specifice spectrometrelor de absorbţie : generatorul de cîmp electromagnetic, elementul dispersiv, celula cu proba de măsurat şi receptorul sau detectorul.

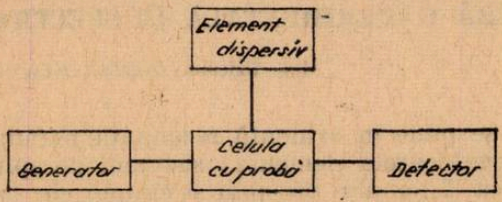
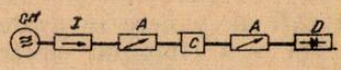
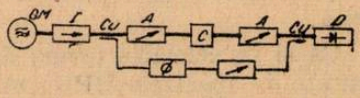
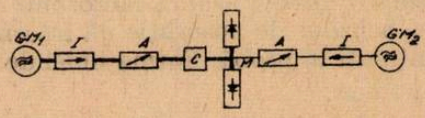
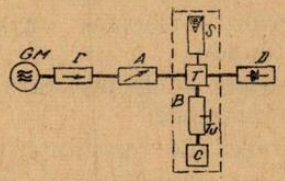
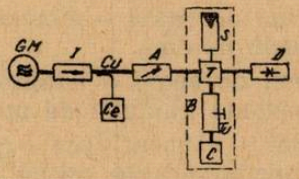
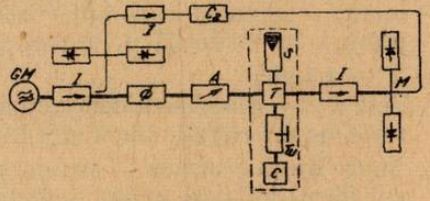
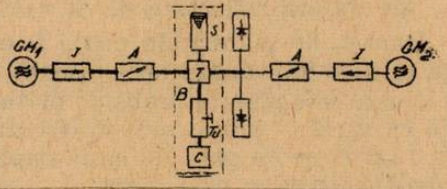
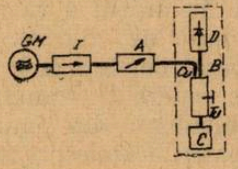
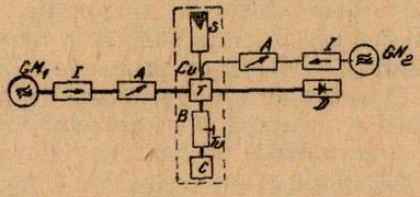
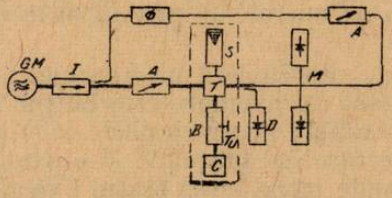


Fig. 1

Generatorul de cîmp electromagnetic este caracterizat prin frecvenţa sa, cuprinsă pentru spectrometrele RPE între 2,3 GHz pînă la 40 GHz. Interesează de asemenea nivelul de putere disponibil cît şi stabilitatea frecvenţei. Elementul dispersiv este cîmpul magnetic. În cazul spectrometriei RPE, elementul dispersiv are o acţiune diferită faţă de restul spectrometrelor de absorbţie, căci dispersează semnalul de răspuns al probei. Parametrii care caracterizează cîmpul magnetic sînt valoarea, stabilitatea şi omogeneitatea. Aceşti parametri nu sînt în general factori care să limiteze experienţele RPE. Celula de absorbţie este o cavitate de rezonanţă. Din punct de vedere al spectrometriei sînt de două tipuri : de transmisie şi de reflexie. Fiecare din aceste două tipuri poate fi clasificat în funcţie de geometria cîmpului electromagnetic intern. Cavitatea este elementul care determină geometria şi piesele componente ale sistemului de microunde al unui spectrometru. Ultimul element, receptorul sau detectorul, este un bolometru sau o diodă semiconductoare. Tipul sistemului de detecţie (homodină sau superheterodină) determină în general componenţa circuitului electronic de măsură al spectrometrului.Dintre aceste elemente, cele care individualizează un spectrometru RPE sînt cavitatea, sistemul de detecţie şi geometria sistemului de microunde. O clasificare a spectrometrelor RPE, făcută considerînd aceste elemente este dată în tabelul 1.

Tabel 1

Cavitate de transmisie Detecţie homodină	
Cavitate de transmisie Detecţie homodină cu braţ de polarizare.	
Cavitate de transmisie Detecţie superheterodină cu mixer simetric.	

Cavitate de reflexie, detecție homodină. Generatorul este sincronizat cu frecvența de rezonanță a unei cavități de măsură	
Cavitate de reflexie, detecție homodină. Generatorul este sincronizat cu frecvența de rezonanță a unei cavități externe.	
Cavitate de reflexie, detecție homodină cu braț de polarizare și mixer simetric.	
Cavitate de reflexie. Detecție superheterodină cu mixer simetric.	
Cavitate de reflexie Detecție homodină Punte de microunde cu cuplor.	
Cavitate de reflexie Detecție superheterodină	
Cavitate de reflexie Detecție superheterodină cu braț de modulare și mixer simetric.	

Semnificaţia simbolurilor folosite în tabelul 1 sînt următoarele:

GM — generator de microunde.

I — izolator — element cu conducţie unidirecţională a energiei de microunde.

A — atenuator — element care controlează nivelul de putere în cîmpul de microunde.

C — cavitatea de rezonanţă — circuit rezonant de microunde.

Ø — element schimbător de fază.

S — sarcina adaptată — element care absoarbe putere de microunde cu reflexie minimă.

T_u — sistem de acord — adaptează impedanţele diferitelor elemente cu impedanţa ghidului de undă.

C_u — cuplor — element care cuplează o parte determinată din puterea de microunde din traseul principal la un circuit auxiliar.

M — mixer — element care amestecă două semnale de frecvenţă diferită, punînd în evidenţă o frecvenţă intermediară.

T — T — magic.

D — detector — diodă semiconductoare sau bolometru — transformă puterea de microunde incidentă într-un semnal de curent continuu.

B — punte de microunde — sistem care izolează detectorul de generatorul de microunde, făcînd detectorul capabil să deceleze variaţii mici ale puterii reflectate de la cavitate.

Puntea de microunde poate fi echivalată cu o punte de radiofrecvenţă în care impedanţa necunoscută este constituită de impedanţa cavităţii în care este plasată proba de măsurat. Puntea de microunde este construită cu un T — hibrid sau un circulator. T-ul hibrid este construit din patru tronsoane de ghid de undă cuplate ca în fig. 2. Dacă în dispozitiv se introduce putere prin braţul 1, aceasta se divide între braţele 2 şi 3 în mod egal. În braţul 4 va apare putere de microunde a cărei mărime este determinată de valorile şi caracterul impedanţelor Z_2 şi Z_3. Dacă $Z_2 = Z_3$, puterea cuplată în braţul 4 va fi nulă. Braţele 1 şi 4 sînt izolate din punct de vedere al cîmpului electromagnetic. Braţele 1, 4 şi respectiv 2, 3 sînt echivalente din punct de vedere al funcţionării dispozitivului. Dacă toate patru braţele prezintă aceeaşi impedanţă caracteristică, dispozitivul se cheamă T magic. În cadrul spectrometrului RPE la braţul 1 se cuplează generatorul de microunde, la braţul 2 cavitatea de măsură, la braţul 3 o sarcină adaptată şi la braţul 4 detectorul. În lipsa rezonanţei, impedanţa cavităţii cu proba de măsurat este egală cu sarcina adaptată şi pe detector nu ajunge putere de microunde. La rezonanţă, impedanţa cavităţii se schimbă şi pe detector va ajunge o anumită putere de microunde determinată de mărimea dezechilibrului punţii.

Circulatorul cu ferită (vezi fig. 3) funcţionează în felul următor: elementul de ferită polarizat, determină un sens unic de propagare a puterii de microunde care intră în dispozitiv prin unul din braţe (de ex. braţul 1).

Puterea este cuplată întotdeauna numai la braţul adiacent în sensul de propagare (în exemplu este braţul 2). Elementele spectrometrului se cuplează astfel: generatorul de microunde la braţul 1, cavitatea la braţul 2, detectorul în braţul 3, şi o sarcină adaptată în braţul 4. Puterea de microunde intrată prin braţul 1 va ajunge în cavitate prin braţul 2. Puterea

de microunde reflectată din cavitate, care conține semnalul RPE, ajunge prin brațul 3 la detector. Sarcina adaptată din brațul 4, absoarbe eventuala putere reflectată de detector, izolarea generatorului de detector fiind astfel completă. Circulatoarele cu ferită permit folosirea mai eficientă a puterii de microunde disponibilă în sistem.

Sistemul de detecție *homodină* este sistemul în care informația RPE conținută de semnalul de microunde este transformată prin detecția

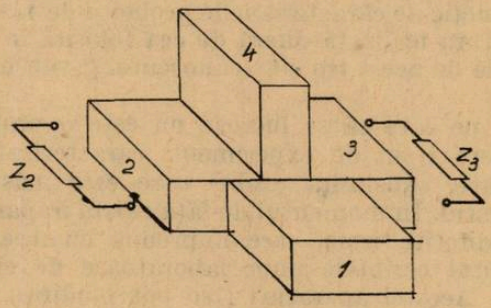


Fig. 2 T hibrid

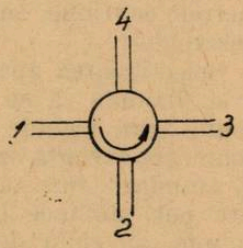


Fig. 3 Circulator cu ferită

directă a semnalului de microunde, într-un semnal continuu. Sistemul de detecție *superheterodină* este sistemul în care informația utilă se obține prin detecția unei frecvențe intermediare obținută prin amestecul (heterodinarea) semnalului de microunde care a traversat cavitatea de măsură sau care este reflectat din cavitatea de măsură, cu un semnal de microunde având frecvența diferită dar apropiată. Sistemul superheterodină permite obținerea unei sensibilități și a unei rezoluții maxime. Datorită însă procesului tehnologic, în ceea ce privește mai ales piesele sistemului de microunde, în special detectorii, sistemul de detecție homodină a ajuns să aibă practic aceleași performanțe ca și cel superheterodină. Sistemul superheterodină este mai avantajos pentru cazurile în care este nevoie să se lucreze cu puteri de microunde de ordinul 1μW și cînd este necesar să se rezolve linii având o lățime sub 70 mGs.

Detectorul de microunde poate lucra în două regiuni distincte ale caracteristicii sale : regiunea pătratică și regiunea liniară (vezi fig. 4). În regiunea pătratică se lucrează atunci cînd puterea de microunde incidentă pe probă este foarte mică. În regiunea liniară se lucrează cînd puterea de microunde este mare. Pentru a se putea obține rezultate corecte și reproductibile este esențial ca în timpul măsurătorilor punctul de funcționare al diodei să fie păstrat în una și aceeași regiune. Dacă este necesar să se lucreze cu o gamă foarte largă de puteri este indicat să se lucreze numai în regiunea liniară. Atunci, pentru fixarea punctului de funcționare al diodei la puteri mici, se folosește geometria sistemului de microunde cu braț de polarizare.

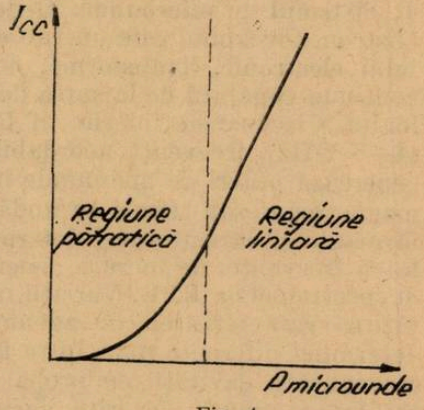


Fig. 4

În afara sistemelor în care proba de măsurat este iradiată în mod continuu cu putere de microunde, și în care se obțin informații directe asupra benzilor de absorbție caracteristice sistemelor de spini, există sisteme spectrometrice în care proba este iradiată cu putere de microunde în impulsuri. Cu aceste instalații se obțin informații directe asupra timpilor de relaxare a sistemelor de spini din probă. Impulsurile de microunde sînt aplicate unei cavități, în care se află plasată proba de măsurat, în secvențe în interiorul cărora impulsurile au anumite forme, durate și sînt distanțate în timp diferit, în funcție de caracteristicile probei și de mărimea ce trebuie determinată. Aparatura utilizată diferă de cea folosită în spectrometrele continue. Instalațiile de acest tip sînt cunoscute și sub numele de relaxometre.

Selecționarea aparaturii pe care să se lucreze nu este o problemă ușoară. Trebuie să se considere tipul de experiment, caracterizat prin mărimile care trebuie măsurate, substanța probei care este măsurată, oamenii care execută experimentul. În momentul de față există o aparatură RPE standard, furnizată de diferite firme, care împreună cu accesoriile livrate pot satisface întru totul cerințele unor laboratoare de chimie, biochimie sau chiar de fizică. Acestei aparaturi i se pot modifica unele caracteristici de funcționare în limite restrînse, în scopul îmbunătățirii unor performanțe. Pentru experiențe cu totul speciale sau în scopuri pedagogice este bine să se construiască instalații adecvate. Cea mai mare parte a aparaturii electronice de măsură se găsește pe piață într-o varietate satisfăcătoare și de calitate profesională, așa încît nu se pune problema construirii acestei aparaturi. Doar sistemul de microunde și în special cavitățile, oferă un domeniu deosebit de larg fanteziei experimentatorilor. În tabelul 2 sînt trecute caracteristicile și performanțele principale ale spectrometrelor RPE existente acum în țară.

Toate, sau aproape toate, spectrometrele RPE comercializate sînt de tipul cu detecție homodină, cu cavitate de reflexie. Schema bloc a unui astfel de spectrometru este dată în fig. 5. Elementele sale pot fi înglobate în trei sisteme funcționale: sistemul de microunde, sistemul magnetic și sistemul de modulare și înregistrare.

1. Sistemul de microunde. Generatorul de microunde este în general un clistron. Clistronul este un tub electronic cu modulare de viteză a fasciculului electronic. Transformă, cu un randament slab, energia de curent continuu căpătată de la sursa de alimentare, în energie de frecvență foarte înaltă. Clistroanele folosite în RPE au bandă de frecvență relativ largă (4÷8 GHz), frecvență acordabilă electric și mecanic în limite reduse și generează puteri de microunde între 50 mW și 1500 mW. Se pot folosi și magnetroane sau tuburi cu undă călătoare. Sursele de alimentare au performanțe și caracteristici determinate de tubul generator folosit. Stabilitatea frecvenței de lucru a generatorului de microunde este foarte critică în spectrometria RPE. Variații mici ale acestei frecvențe determină înrăutățirea caracteristicii de zgomot a spectrometrului. Variații mari pot determina diferențe mari între frecvența de lucru și frecvența proprie de rezonanță a cavității cu proba de măsurat. Acest fapt determină dezechilibrarea punții, datorită variației impedanței cavității de măsură cu frecvența. Pentru stabilizarea frecvenței generatorului de microunde se pot folosi două metode: a) stabilizarea relativă la frecvența proprie de rezonanță a cavității de măsură cu proba plasată în ea; b) stabilizarea relativă la frecvența proprie de rezonanță a unei cavități exterioare, cu un factor de calitate foarte bun, sau relativă la armonica superioară a

Tabelul 2

Firma	I.F.A.	Jeol		Varian
Ţara	România	Japonia		S.U.A.
Model	ART–5	JES–3B	JES–ME–3	E–12
Banda de lucru	X	X,K	X,K	X
Tip de punte	T-magic	T-magic	T-magic	Circulator
Frecvenţe de modulaţie	100KHz	100KHz, 80 Hz	100KHz 80Hz	100KHz, 1KHz, 270Hz, 35Hz.
Amplitudine de modulaţie minimă maximă G	10 G $v=v$	0,1 20	0,02 20	0,05 40
Intrefier mm	20	60	60	66
Valoarea cîmpului magnetic minimă maximă	6000	700 10000	500 13500	50 13000
Omogeneitate	—	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	45 mG
Tip de stabilizare	curent	curent	Hall	Hall
Stabilitatea curentului cîmp. magnetic	$3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Amplitudinea de baleiaj minimă maxmă G	50 5000	300	2 10000	0,02 10000
Viteza de baleiaj minimă maximă min.	0,2 30		1 100	0,5 16 ore
Linearitatea baleiajului			± 0,5 %	± 0,3%
Sensibilitate spini N/DH	$3 \cdot 10^{11}$	$2 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^{10}$
Rezoluţie	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	
Accesorii :				
Cav. dublă	nu se livrează		da	da
Cav. rotitoare				da
Cav. bimodală				da
Cav. cu trans. optică			da	da
Dewar inserţie		da	da	da
Lucru la He lic.			da	da
Temp. variabilă		da	da	da
Calculator on-line				da

unui oscilator cu cuarţ. Prima metodă este mai comodă, deoarece cavitatea lucrează în permanenţă acordată optim. Este metoda folosită în majoritatea spectrometrelor comercializate. Indiferent de metoda de stabilizare, sistemul de control automat al frecvenţei (CAF) compară frecvenţa de lucru a generatorului cu frecvenţa aleasă ca etalon. Diferenţa eventuală

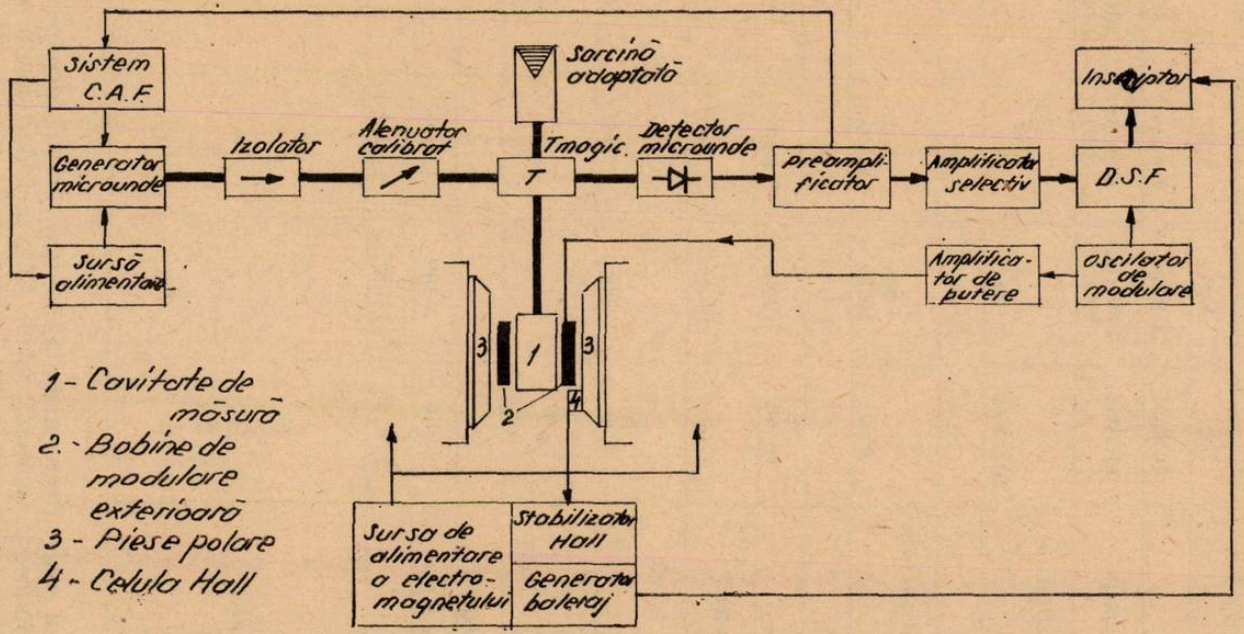
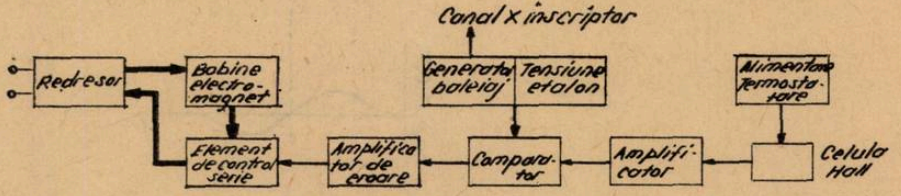


Fig. 5 Schema bloc a unui spectrometru RES cu cavitate de reflexie, detecție heterodină și stabilizarea cîmpului magnetic cu celulă Hall.

este transformată într-un semnal de eroare, care este prelucrat în așa fel încît acționînd asupra generatorului de microunde să-i modifice frecvența în sensul acumulării diferenței între cele două frecvențe. Rolul celorlalte elemente ale sistemului de microunde a fost arătat în legătură cu tabelul 1. Informații detailate asupra elementelor de microunde se pot găsi în lucrările indicate în bibliografie (7, 8).

2. Sistemul magnetic. Sistemul este compus din electromagnet, sursa de alimentare a acestuia, generatorul de baleiaj și blocul de stabilizare a cîmpului magnetic. Electromagneții moderni se construiesc avînd rezistență ohmică foarte mică, deoarece sursele de alimentare sînt tranzistorizate. Răcirea se asigură prin convecție naturală sau este forțată, cu apă. Cîmpul magnetic trebuie să fie stabil și omogen. Instabilitățile mici duc la lărgirea artificială a liniei RPE. Instabilitățile mari determină rezultate eronate. Inomogeneitățile produc de asemenea lărgiri artificiale ale liniei. Pentru a se asigura omogeneitatea necesară, electromagneții se construiesc avînd raportul între diametrul polilor și întrefier mai mare decît 5, iar fețele polare plan paralele, cu toleranțe cît mai mici și șimuite adecvat pentru compensarea efectului de margine. Dacă condițiile de stabilitate a cîmpului nu sînt foarte severe, este suficientă o stabilizare a curentului care alimentează electromagnetul.

Pentru a se obține stabilizări mai bune se folosesc sisteme de stabilizare pe bază de celulă Hall. Schema bloc a unui asemenea sistem este cea din fig. 6. Celula Hall este un dispozitiv semiconductor care dacă este plasat într-un cîmp magnetic generează o tensiune electromotoare propor-



Fog. 6 Schema bloc a sistemului de alimentare a electromagnetului cu stabilizarea cîmpului magnetic.

țională cu intensitatea cîmpului magnetic. În sistemul de stabilizare, tensiunea Hall este comparată cu o tensiune etalon obținută prin suprapunerea unei tensiuni liniar variabilă, peste o tensiune de amplitudine stabilă, reglabilă. Diferența care apare eventual între t.e.m. Hall și tensiunea etalon constituie semnalul de eroare. Acesta comandă elementul serie de control, care practic are rolul unei rezistențe variabile, în serie cu bobinele electromagnetului. Acțiunea acestui element este în sensul anulării semnalului de eroare.

În ultima vreme se folosesc pentru spectrometria RPE și bobine supraconductoare. Acestea sînt capabile să producă cîmpuri de intensitate foarte mare și stabilitate foarte bună.

3. Sistemul de modulare și înregistrare. Toate spectrometrele RPE moderne folosesc sistemul de înregistrare cu dublă modulare. Adică peste cîmpul magnetic static în care este situată proba, se suprapune un cîmp variabil liniar lent, avînd amplitudinea maximă mai mare decît lățimea spectrului pe care dorim să-l înregistrăm și un cîmp magnetic sinusoidal de frecvență joasă, avînd amplitudinea mult mai mică decît lărgimea

liniei RPE pe care o înregistrăm. Transformarea semnalului de absorbţie în microunde se poate urmări în fig. 7.

Se obţine la ieşirea detectorului de microunde o componentă sinusoidală, cu amplitudinea proporţională cu panta liniei de absorbţie, suprapusă peste semnalul curent continuu rezultat prin detectarea puterii de microunde, incidentă pe detector. Înfăşurătoarea acestei componente este

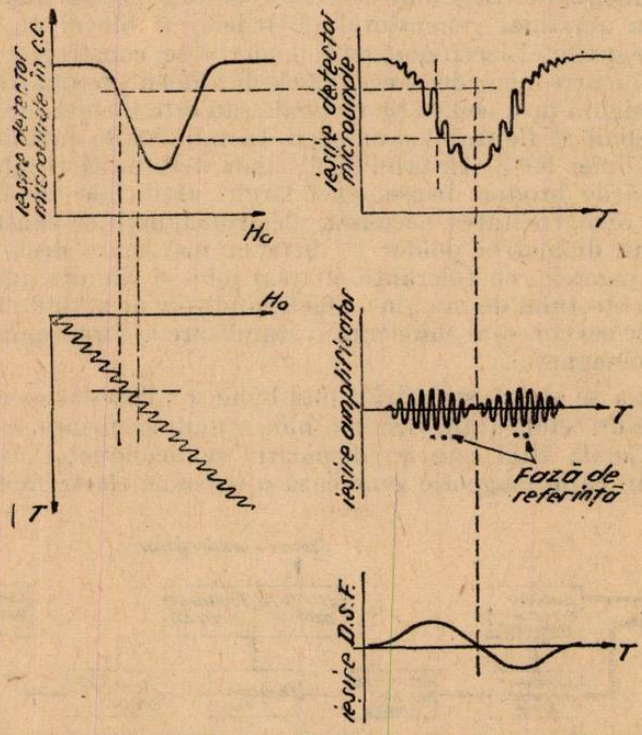


Fig. 7 Ilustrarea principiului de măsură a unui spectrometru cu dublă modulare.

derivata liniei de absorbţie. Lanţul electronic de măsură va prelucra semnale de curent alternativ. În acest fel se elimină deriva nivelului de zero caracteristică sistemelor care lucrează în curent continuu şi se poate îmbunătăţi mult caracteristica de zgomot a întregului spectrometru. Această caracteristică de zgomot este exprimată de raportul între tensiunea de semnal şi tensiunea de zgomot la bornele inscriptorului. În orice aparatură electronică există simultan două tipuri de zgomot. Un tip de zgomot se caracterizează prin intensitatea spectrală independentă de frecvenţă (zgomot alb), celălalt tip, avînd intensitatea spectrală proporţională cu inversul frecvenţei. Pentru intensitatea spectrală constantă, puterea de zgomot admisă de un circuit electronic este direct proporţională cu banda de frecvenţă a acestui circuit. Se demonstrează că în cazul înregistrării cu dublă modulare, banda de frecvenţă globală a lanţului electronic de măsură este necesar să fie comparabilă cu inversul timpului necesar înregistrării unei linii RPE, deci de ordinul a 1Hz. Puterea de zgomot admisă pentru o bandă atît de îngustă va fi foarte mică şi raportul semnal-zgomot va fi mult îmbunătăţit. Banda de trecere atît de îngustă este asigurată de un circuit special, numit detector sensibil la fază. Problema zgomotului $1/f$, se rezolvă alegînd adecvat frecvenţa semnalului de modulare.

Sistemul de modulare are la bază un oscilator care produce semnalul de atac al amplificatorului de putere și tensiunea de referință pentru detectorul sensibil la fază. Limita superioară a gamei de frecvență, în care se alege frecvența oscilatorului, este determinată de lățimea minimă a liniilor RPE pe care dorim să le înregistrăm. În mod curent se alege frecvența de 100 KHz, care corespunde unei linii de 30 mG. De obicei în spectrometrele RPE există mai multe oscilatoare cu frecvență fixă, dintre care unul lucrează pe 100 KHz, iar celelalte pe frecvențe mult mai mici (35 Hz 80 Hz, 270 Hz, etc). Amplificatorul de putere produce semnalul necesar pentru alimentarea bobinelor de modulare. Pentru frecvențe mari de modulare (100 KHz și peste) amplificatorul acesta se construiește selectiv. Bobinele de modulare pot fi plasate în interiorul cavității de măsură sau în exterior. Bobine interioare cavității se folosesc numai pentru frecvențe de modulare mari.

Bobinele exterioare pot fi montate pe cavitate sau pe fețele polare (numai pentru modulația de joasă frecvență). Bobinele exterioare montate pe cavitate, reprezintă soluția cea mai comodă și mai avantajoasă pentru ambele domenii ale frecvenței de modulare. Preamplificatorul este un amplificator de curent alternativ, avînd un zgomot propriu cît mai mic posibil și banda de frecvență largă (sute de KHz). Amplficatoarele selective sînt separate pentru fiecare frecvență de modulare folosită în spec-

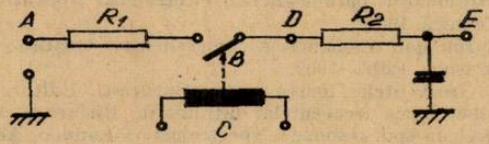


Fig. 8

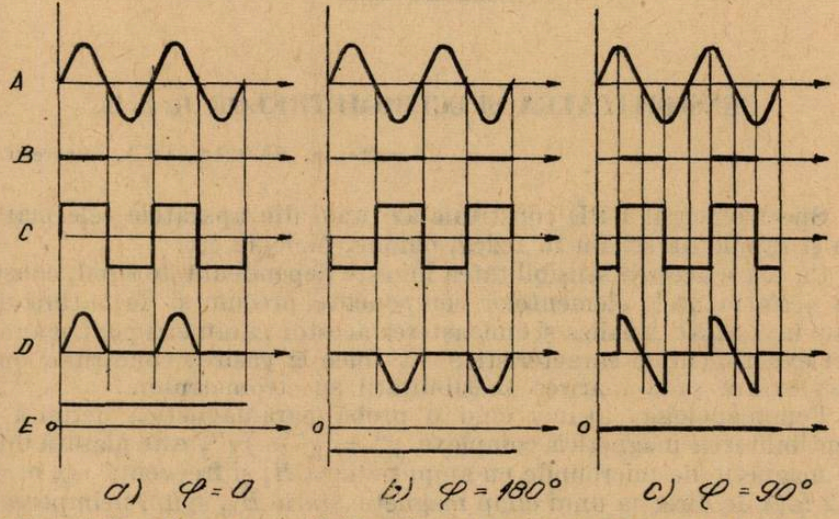


Fig. 9 Formele de undă, care exemplifică funcționarea de principiu a circuitului DSF. a) semnalul și referința în fază, b) semnalul și referința în antifază, c) semnalul și referința în cuadratură.

trometru. Conțin și atenuatori cu care se reglează sensibilitatea lanțului electronic de măsură. Detectorul sensibil la fază (D.S.F.) efectuează detecția semnalului sinusoidal păstrînd și informația de fază conținută de semnal. Funcționarea de principiu poate fi înțeleasă urmărind fig. 8 și fig. 9.

Se consideră un releu care închide şi deschide contactul B în ritmul comandat de semnalul de referinţă. La ieşirea filtrului (D) se obţine un semnal continuu, proporţional cu cos φ, unde φ este defazajul între semnalul util şi semnalul de referinţă. În practică funcţia de comutator a releului este îndeplinită de circuite electronice.

Inscriptorul înregistrează derivata semnalului de absorbţie în funcţie de cîmpul magnetic. Poate fi de tip Y—T sau Y—X. Semnalul de la ieşirea DSP, constituie semnalul de intrare pentru canalul Y. Dacă inscriptorul este de tip Y—T, viteza de deplasare a hîrtiei este constantă şi ţinîndu-se seama de faptul că baleiajul cîmpului magnetic este liniar, se poate face o etalonare a deplasării hîrtiei direct în unităţi de cîmp. La inscriptoarele Y—X, la intrarea canalului X, se aplică direct un semnal proporţional cu baleiajul cîmpului magnetic.

BIBLIOGRAFIE

1. *Ursu Ioan*, Rezonanţa electronică de spin. Bucureşti, Editura Academiei, 1965.
2. *Alger Raymond* S., Electron Paramagnetic Resonance : techniques and application. New York, Interscience Publ. 1968.
3. *Assenheim H. M.*, Introduction to electron spin resonance London, Hilger and Watts, 1966.
4. *Ingram D. J. E.*, Spectroscopy at radio and microwave frequencies, London, Batterworths, 1967.
5. *Nicolau Claude* ş.a., Rezonanţa paramagnetică electronică. Aplicaţii în chimie şi biologie. Bucureşti, Editura Tehnică 1966.
6. *Poole Charles* P., Electron spin resonance. A comprehensive treatise on experimental techniques. New York Interscience Publ. 1967.
7. *Rulea George*, Tehnica frecvenţelor foarte înalte. Bucureşti, Editura Tehnică, 1966.
8. *Stoicescu Nicolae*, Radiotehnica frecvenţelor ultraînalte. Bucureşti, Editura Militară 1959.
9. *Wilmshurst T. H.* Electron spin resonance spectrometers London, Adam Hilger Ltd., 1967.

SENSIBILITATEA SPECTROMETRELOR R. P. E.*

Cercetător *R. BAICAN*, I.F.A. Bucureşti

Spectrometrul RPE constituie azi unul din aparatele cele mai sensibile şi rapide de studiu în fizică, chimie, biologie etc.

Cu toate acestea sensibilitatea lui este dependentă de tipul, construcţia şi performanţele elementelor componente, precum şi de natura materialului investigat. Analiza şi cunoaşterea acestor parametri pentru anumite cazuri experimentale caracteristice va duce la găsirea condiţiilor optime de exploatare şi la mărirea sensibilităţii spectrometrului.

Fenomenologic, atunci cînd o probă paramagnetică definită prin susceptibilitatea magnetică complexă $\chi^* = \chi' - j\chi''$, este plasată într-un cîmp magnetic de microunde cu amplitudinea H_1 şi frecvenţa ω_0, orientat cu $\pi/2$ faţă de direcţia unui cîmp magnetic static H_0, spinii neîmperechiaţi din probă vor interacţiona cu cîmpul de microunde H_1. Cînd condiţia de rezonanţă este satisfăcută : $\hbar\omega_0 = g\beta H_0$, vor fi induse tranziţii dipolare magnetice. Aceste interacţiuni se manifestă atît printr-o absorbţie de putere de la cîmpul H_1, asociată cu partea imaginară χ'' a susceptibilităţii

* În continuarea seriei de articole realizate de I.F.A. asupra preblemelor de rezonanţă.

complexe, cît şi prin modificarea fazei lui H_1, asociată cu partea reală χ' a susceptibilităţii magnetice complexe.

Vom putea deci defini sensibilitatea unui spectrometru RPE prin cea mai mică putere absorbită (sau modificare de fază) ce o poate pune în evidenţă, la trecerea prin rezonanţă.

În spectrometrele RPE moderne, cîmpul de microunde H_1 este obţinut în interiorul unei cavităţi de microunde, care este echivalentă cu un circuit de rezonanţă de RF cu constante concentrate.

O astfel de cavitate de rezonanţă în domeniul microundelor este confecţionată sub forma unei incinte, deobicei de formă cilindrică sau paralelipipedică, cu dimensiuni comparabile cu lungimea de undă, dintr-un metal de conductivitate mare. La rezonanţă, cavitatea este capabilă să întreţină oscilaţii de microunde în diverse configuraţii de unde staţionare,

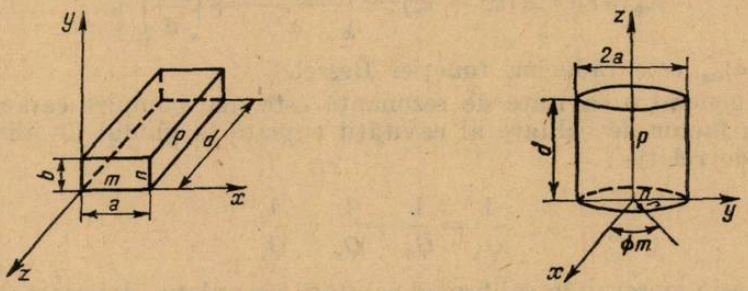


Fig. 1

determinate de forma şi dimensiunile ei, numite moduri de socilaţie [1,2], Aceste moduri de oscilaţie sînt caracterizate printr-o anumită localizare a vectorilor E şi H şi sînt împărţite în două grupe : TE_{mnp} — transversal electric şi TM_{mnp} — transversal magnetic. Aceste moduri de oscilaţie pot fi obţinute atît în cavităţi paralelipipedice cît şi în cele cilindrice.

Indicii m, n, p determină univocitatea unui anumit mod de oscilaţie. Pentru cazul unei cavităţi paralelipipedice ei reprezintă numărul de jumătăţi de lungimi de undă din regimul de undă staţionară, după direcţiile

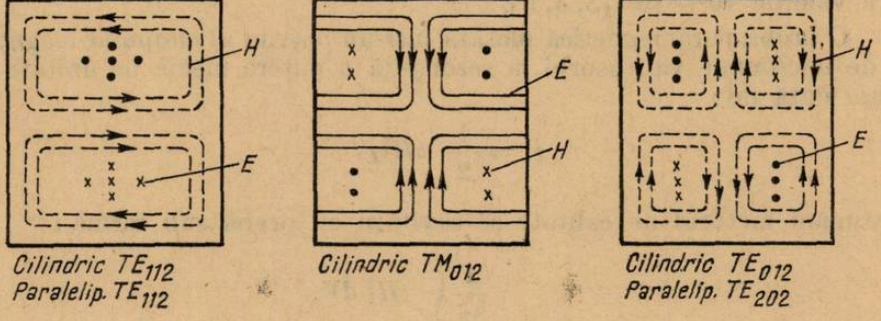


Fig. 2

x, y, respectiv z (fig. 1a). Pentru cazul unei cavităţi cilindrice (fig. 1b), indicii reprezintă numărul de jumătăţi de lungimi de undă aflate pe direcţiile unghiulară Φ, radială γ şi longitudinală z. Cîteva moduri reprezentative de oscilaţie pentru cavităţile cilindrice şi paralelipipedice sînt date în Fig. 2.

O cavitate de rezonanță este definită prin doi parametri importanți : *Factorul de calitate* definit prin :

$$Q_0 = \omega_0 \frac{\text{(energia înmagazinată)}}{\text{Puterea medie disipată pe ciclu}} \tag{1}$$

și frecvența de rezonanță $\omega_0 = 2\pi f_0$, definită pentru o cavitate paralelipipedică prin :

$$\omega_0 (\mu\varepsilon)^{1/2} = \frac{2\pi}{\lambda_0} = \pi \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} + \frac{p^2}{d^2} \right)^{1/2} \tag{2}$$

iar pentru o cavitate cilindrică prin :

$$\omega_0 (\mu\varepsilon)^{1/2} = (k_c^2 + k_z^2)^2 = \left[\frac{(k_c a)_{mn}^2}{a^2} + \left(\frac{p\pi}{d} \right)^2 \right]^{1/2} \tag{3}$$

unde $(k_c a)_{mn}$ este rădăcina funcției Bessel.

În general o cavitate de rezonanță este mai complet caracterizată printr-un factor de calitate al cavității cuplate la ghidul de alimentare Q_L, dat de relația :

$$\frac{1}{Q_L} = \frac{1}{Q_n} + \frac{1}{Q_\varepsilon} + \frac{1}{Q_r} \tag{4}$$

unde Q_n este factorul de calitate al cavității necuplate, determinat numai de pierderile ohmice din pereții cavității, iar Q_ε și Q_r sînt factorii de calitate dielectric, respectiv radiativ, definiți prin :

$$Q_r = 2\pi \frac{\text{Energia înmagazinată în cavitate}}{\text{Energia pierdută prin cuplaj în ciclu}}$$

$$Q_\varepsilon = 2\pi \frac{\text{Energia înmagazinată în cavitate}}{\text{Energia pierdută în dielectricul din cav. pe ciclu}}$$

La temperatura camerei, valorile factorului de calitate Q_L variază între valorile $10^3 - 10^5$ [3, 4, 5].

O probă paramagnetică plasată într-un maxim al cîmpului magnetic H_1 de microunde va absorbi la rezonanță o putere medie pe unitate de volum dată de :

$$P = \frac{1}{2} \omega H_1^2 \chi'' \tag{5}$$

Exprimăm factorul de calitate al cavității cu probă sub forma :

$$Q = \omega \frac{\frac{1}{8\pi} \int_{V_c} H_1^2 \, dV_c}{P_1 + \frac{1}{2} \omega \int_{V_p} H_1^2 \chi'' \, dV_p} \tag{6}$$

unde P_1 este puterea disipată în cavitate în absența absorbției paramagnetice, V_p este volumul probei, iar V_c volumul cavității.

Presupunînd că pierderile paramagnetice sînt mici în comparație cu P_1 obținem :

$$Q' = Q_0 \left(1 - 4\pi \frac{\int_{V_p} H_1^2 \chi'' \, dV_p}{\int_{V_c} H_1^2 \, dV_c} Q_0 \right) = Q_0 (1 - 4\pi \chi'' \eta Q_0)$$

De aici, variația factorului de calitate datorită absorbției paramagnetice la rezonanță va fi dată de :

$$\Delta Q = Q_0^2 4\pi \eta \chi'' \tag{7}$$

unde Q_0 este factorul de calitate al cavității în absența pierderilor paramagnetice, iar η este numit factor de umplere definit prin :

$$\eta = \frac{\int_p H_1^2 \, dV}{\int_c H_1^2 \, dV} = \frac{V_p < H_1^2 > p}{V_c < H_1^2 > 0} \tag{8}$$

Pentru a determina și analiza condițiile ce trebuiesc îndeplinite pentru a obține o valoare maximă a lui ΔQ, să considerăm cazul cînd o cavitate de rezonanță de reflexie este cuplată în brațul 2 a unei punți de microunde cu dublu T (Fig. 3). Puntea este alimentată prin brațul 1 de la un generator de microunde. În brațul 3 al punții se găsește un șurub de acord și o sarcină adaptată SA, iar în brațul 4 se află o diodă detectoare cu semiconductor, D.

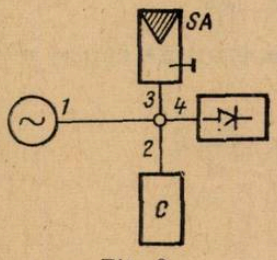


Fig. 3

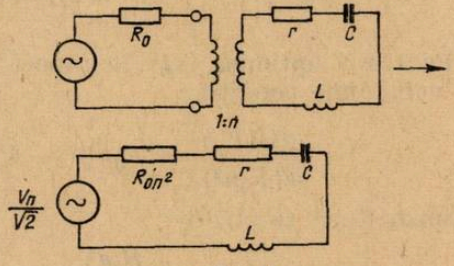


Fig. 4

În fig. 4 este dat circuitul echivalent al cavității de rezonanță cuplată cu generatorul prin intermediul unui iris de cuplaj, reprezentat sub forma unui transformator de cuplaj cu raportul $1 : n$. Rezistența internă a generatorului este notată cu R_0.

Dacă vom defini coeficientul de cuplaj al cavității prin $\beta = Q_0/Q_r$, atunci în funcție de valoarea lui vom avea :

Cavitate cuplată critic $\beta = \frac{Q_0}{Q_r} = \frac{R_0 n^2}{r} = 1$

cavitate supracuplată $\beta > 1$; $\sigma = \beta = \dfrac{R_0 n^2}{r}$

cavitate subcuplată $\beta < 1$; $\sigma = \beta^{-1} = \dfrac{r}{R_0 n^2}$

unde σ este coeficientul de undă staționară.

Deoarece coeficientul de cuplaj corespunzător unui semnal maxim la ieșire depinde de caracteristica diodei detectoare, vom analiza cele două cazuri corespunzătoare celor două regiuni caracteristice ale diodei [6, 7]

1. Detecția patratică: semnalul obținut pe diodă este proporțional cu puterea incidentă.

La rezonanță puterea în cavitate este dată de:

$$P_c = \left(\frac{Vn}{\sqrt{2}}\right)^2 \frac{r}{(R_0 n^2 + r)^2} \tag{9}$$

unde termenul $\sqrt{2}$ apare datorită faptului că jumătate din puterea furnizată de generator este absorbită de sarcina adaptată din brațul 3. Puterea maximă furnizată de generator în brațul 1 al punții este dată de:

$$P_0 = \frac{(Vn)^2}{4R_0 n^2} \tag{10}$$

care după ce se introduce în (9) rezultă:

$$P_c = P_0 \frac{2R_0 n^2 r}{(R_0 n^2 + r)^2} \tag{11}$$

Variația puterii reflectate, ΔP_R, de cavitate este egală cu variația puterii din interiorul cavității ΔP_c (deoarece puterea incidentă rămîne aceeași), care se poate exprima prin:

$$\Delta P_c = \frac{\partial P_c}{\partial r} \Delta r = 2R_0 n^2 P_0 \frac{R_0 n^2 - r}{(R_0 n^2 + r)^3} \Delta r \tag{12}$$

Pentru a optimiza ΔP_c în raport cu parametrul de cuplaj n^2 sau $R_0 n^2$, vom pune condiția:

$$\frac{\partial (\Delta P_c)}{\partial (R_0 n^2)} = (R_0 n^2)^2 - 4 (R_0 n^2) + r^2 = 0 \tag{13}$$

și obținem după rezolvare:

$$\frac{R_0 n^2}{r} = 2 \pm \sqrt{3} \tag{14}$$

unde semnul pozitiv este asociat cu cazul unei cavități supracuplate, iar semnul minus cu cazul unei cavități subcuplate.

Cantitatea măsurabilă experimental este coeficientul de undă staționară $\sigma = 2 + \sqrt{3} = 3{,}74$, care corespunde la un coeficient de reflexie de 0,58.

Introducem valoarea dată de (14) și (12) și obținem pentru semnalul PRE maxim valoarea:

$$\frac{\Delta P_c}{P_0} = \pm\, 0{,}193 \frac{\Delta r}{r} = \mp\, 0{,}193 \frac{\Delta Q_0}{Q_0} = \mp\, 0{,}193\, 4\pi\chi'' \eta Q_0 \tag{15}$$

2. *Detecție liniară* : semnalul obținut de pe dioda detectoare este proporțional cu tensiunea de intrare. Dacă notăm cu Γ coeficientul de reflexie, atunci tensiunea reflectată de la cavitate este dată de relația :

$$V_R = \frac{V}{\sqrt{2}}\,\Gamma = \frac{V}{\sqrt{2}}\left(\frac{\sigma-1}{\sigma+1}\right) = -\frac{V}{\sqrt{2}}\left[1-\frac{2\sigma}{\sigma+1}\right] \tag{16}$$

cu (16) obținem pentru cazul unei cavități subcuplate expresia :

$$V_R = -\frac{V}{\sqrt{2}}\left(1-\frac{2r}{R_0n^2+r}\right) \tag{17}$$

iar pentru cazul unei cavități supracuplate :

$$V_R = -\frac{V}{\sqrt{2}}\left(1-\frac{2R_0n^2}{R_0n^2+r}\right) \tag{18}$$

Variația tensiunii reflectate va fi exprimată prin :

$$\Delta V_R = \frac{\partial V_R}{\partial r}\Delta r = \pm\sqrt{2}\,V\Delta r\,\frac{R_0n^2}{(R_0n^2+r)^2} \tag{19}$$

Pentru a găsi cuplajul optim, vom pune condiția :

$$\frac{\partial(\Delta V)}{\partial(R_0n^2)} = R_0n^2 - r = 0 \tag{20}$$

și rezultă : $\dfrac{R_0n^2}{r} = 1$

Introducînd valoarea lui (20) în (19) obținem valoarea maximă a semnalului RPE :

$$\frac{\Delta V_R}{V} = \pm\frac{\sqrt{2}}{4}\frac{\Delta r}{r} = \pm\frac{\sqrt{2}}{4}\frac{\Delta Q_0}{Q_0} = \pm\frac{\sqrt{2}}{4}4\pi\chi''\eta Q_0 \tag{21}$$

Trebuie să notăm că o maximalizare a semnalului obținut de pe detector va duce la o valoare maximă a raportului semnal-zgomot, dacă zgomotul este o constantă independentă de puterea de microunde, ceea ce este departe de realitate.

Evident că semnalul minim detectabil este determinat de agitația termică întîmplătoare răspîndită în banda de frecvență B. Puterea de microunde minim detectabilă va fi deci de ordinul KTB, unde K este constanta lui Boltzmann, iar T este temperatura absolută.

Pentru cazul unui spectrometru RPE, problema este puțin diferită, deoarece aici scopul este de a pune în evidență o modificare mică a puterii sau tensiunii reflectate de cavitate, suprapusă peste un semnal relativ mare de microunde.

Dacă notăm cu R_d rezistența diodei detectoare și considerăm că F_t este factorul de zgomot total al sistemului de detecție și amplificare, atunci valoarea tensiunii de zgomot echivalentă este dată de relația :

$$\Delta V_z = \sqrt{2}\cdot\sqrt{F_tR_dKTB} \tag{22}$$

Egalînd cu relația (21) obținem) :

$$\chi''_{min} = \frac{1}{\pi \eta Q_0} \left(\frac{F_t K T B}{G P_c} \right)^{1/2} \tag{23}$$

unde G este cîștigul de conversie al diodei.

Expresia (23) ne dă valoarea minimă a susceptibilității magnetice detectabile și este o măsură a sensibilității spectrometrului. Din ea se vede că pentru o anumită cavitate, sensibilitatea este influențată de puterea de microunde P_c ce intră în cavitate și de factorul de zgomot total, F_t.

Experimental s-a stabilit o anumită relație de proporționalitate între sensibilitatea spectrometrului și nivelul de putere, care este valabilă pentru nivele de putere în cavitate care îndeplinesc condiția $P_c < 0{,}1$ W. Pentru valori mai mari ale lui P_c, sensibilitatea spectrometrului atinge o valoare limită independentă de P_c [8].

Referitor la factorul de zgomot total F_t, el este definit prin factorii de zgomot proprii clistronului, diodei detectoare, preamplificatorului, cavității de rezonanță și elementelor de legătură. Preponderent este zgomotul provenit de la generatorul de microunde, care s-a stabilit că se compune din :

— zgomotul corespunzător unei modulări de amplitudine (MA)
— zgomotul datorat unei modulări în frecvență (MF)
— zgomotul termic (background).

Sensibilitatea unui spectrometru RPE este proporțională cu raportul dintre amplitudinea semnalului și amplitudinea zgomotului, înregistrate pe recorder sau osciloscop.

Zgomotul provenit de la generator și alte elemente de legătură, precum și semnalul util provenit de la cavitate trec împreună prin diferite

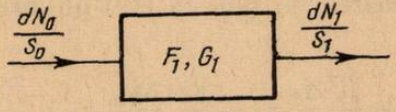


Fig. 5

etaje caracterizate printr-un factor de zgomot F_1 și un factor de amplificare G_1. Rezultatul va fi că la ieșire, conform figurii 5, raportul semnal zgomot va fi mai mic ca la intrare, deoarece întotdeauna $F_1 \geqslant 1$. Vom avea atunci

$$\frac{dN_1}{S_1} = F_1 \frac{dN_0}{S_0} \tag{24}$$

și deoarece $G_1 = \frac{S_1}{S_0}$ (25)

avem :

$$dN_1 = F_1 G_1 dN_0 = F_1 G_1 K T B = G_1 K T B + (F_1 - 1) G_1 K T B \tag{31}$$

Factorul de zgomot integrat al dispozitivului este obținut prin integrarea pe toate frecvențele :

$$N_1 = \int_0^\infty F_1 G_1 K T B \tag{26}$$

Considerînd o schemă simplificată a spectrometrului RPE [9] (Fig. 6), la care aplicăm relaţia lui Früs [10], vom putea găsi pe baza raţionamentului de mai sus puterile de zgomot şi factorii de zgomot la ieşirea din fiecare etaj :

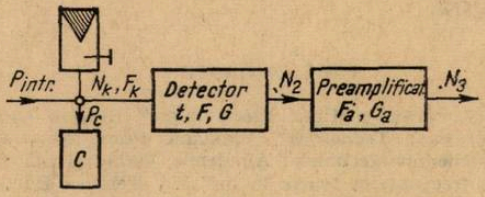


Fig. 6.

La ieşirea din puntea de microunde :

$$N_k = F_k G_1 KTB \tag{27}$$

unde $G_1 = 1$, iar F_k este factorul de zgomot al klistronului.
După detector avem :

$$N_2 = GN_k + (F-1)GKTB = (F_k + F - 1)GKTB \tag{28}$$

$$F_2 = F_k + F - 1$$

iar la ieşirea din preamplificator :

$$N_3 = G_a N_2 + (F_a - 1)\, G_a KTB = \left(F_k + F - 1 + \frac{F_a - 1}{G}\right) GG_a KTB$$

$$F_3 = F_k + F - 1 + \frac{F_a - 1}{G} \tag{29}$$

Dacă vom caracteriza detectorul prin mărimile : t = temperatura echivalentă de zgomot (deobicei > 1), G = cîştigul de conversie al diodei (subunitar), acestea sînt legate de factorul de zgomot F al diodei prin relaţia : $t = FG$. Cu aceste mărimi factorul de zgomot total al sistemului F_3, se va exprima prin :

$$F_3 = F_k + \frac{t + F_a - (G+1)}{G} \tag{29}$$

Ţinînd cont de relaţia (23) în care înlocuim pe F_d cu F_3 obţinem pentru susceptibilitatea minim detectabilă, relaţia

$$\chi''_{min} = \frac{1}{\pi \eta Q_0} \left\{ \left[F_k + \frac{t + F_a - (G+1)}{G} \right] \frac{KTB}{P_c} \right\}^{1/2} \tag{30}$$

Relaţia (30) este o expresie generală a sensibilităţii unui spectrometru RPE, cu cavitate de reflexie şi detecţie cu diodă semiconductoare.

Relaţia exprimă faptul că sensibilitatea unui spectrometru de rezonanţă depinde de factorul de calitate Q_0 al cavităţii utilizate, factorul de zgomot al generatorului de microunde F_k şi al preamplificatorului F_a, precum şi de caracteristicile diodei detectoare, adică temperatura de zgomot echivalentă şi cîştigul de conversie G.

De aici rezultă că pentru a îmbunătăți sensibilitatea unui spectrometru RPE este în primul rînd nevoie să utilizăm o cavitate de rezonanță cu factor de calitate mare; generatorul de microunde să fie caracterizat printr-un factor de zgomot cît mai mic posibil; dioda să aibă performanțe de zgomot cît mai bune; banda de trecere finală a sistemului de detecție să fie cît mai îngustă.

BIBLIOGRAFIE

1. *I. Ursu*: „Resonance Paramagnetique Electronique" Edition Dunod, Paris 1968
2. *A. F. Harvey*: „Microwave Technique" Academic Press, New York 1963.
3. *A. Frieser*: „Mikrowellenmesstechnick" Akademic Verlag Berlin 1965.
4. *G. Rulea*: „Tehnica frecvențelor foarte înalte" Ed. Tehnică București 1966.
5. *I. V. Lebedev*: „Tehnika i Priborî sverhvîsokihciastot, Moscova 1961.
6. *G. Feher*: Sensitivity Considerations in Microwave Paramagnetic Resonance Absorbtion Techniques.
   Bell System Tech, Journal, p. 449, March 1957.
7. *C. P. Poole Jr*: „Electron spin Resonance"
   A Comprehensive Treatise on Experimental Techniques. Interscience Publishers 1967. John Wiley sous. New-York, London, Sydney.
8. *H. A. Buckmaster; J. C. Deving*: Limiting sensitivity of EPR spectrometer at high power levels. Proceeding of the XV Colloque AMPERE Ljubljana 6—11 sept. 1966, p. 1017.
9. *R. Baican*: Asupra utilizării unui Maser cu preamplificator într-un spectrometru RES. Stud. Cerc. Fizică 9, Tom. 22, p. 1027, 1970.
10. *H. T. Früs*: Proc. IRE, vol. 32, 7, 719 (1944).

MECANISMELE DE REACȚIE ÎN CHIMIA ORGANICĂ

Lector univ. Dr. *DINU ZĂVOIANU* Facultatea de Chimie, Univ. București

Relațiile care există între structura și reactivitatea substanțelor organice constituie una din problemele importante ale chimiei organice, iar cunoașterea profundă a mecanismelor de reacție conduce la stabilirea unor legi care determină aceste relații.

O reacție chimică poate fi considerată ca un proces prin care se trece de la o substanță A la o substanță B, iar pentru ca reacția să fie înțeleasă este necesar să se cunoască structura substanței inițiale, structura substanței nou formate, precum și ceea ce se întîmplă între aceste două stadii, cu alte cuvinte să se cunoască mecanismul de reacție.

Mecanismul de reacție poate fi definit, în general, ca o succesiune de procese simple (elementare), în cursul cărora moleculele substanței inițiale, în urma labilizării și scindării unor legături sub influența anumitor factori, se transformă în produși intermediari, mai mult sau mai puțin stabili (complecși, ioni, radicali liberi). Din aceștia, în urma formării unor noi legături covalente, se formează moleculele substanței finale, cu structură diferită de cea a substanței inițiale. Acest proces de trecere de la $A \rightarrow B$ este interesant și din punctul de vedere al schimbului energetic, al cerințelor geometrice ale reacției, precum și din punctul de vedere al relațiilor dintre acestea și structură.

În chimia organică se cunosc două mecanisme de reacție, determinate de modul în care o legătură covalentă simplă denumită și legătura sigma poate să se scindeze:

— Legătura covalentă se poate scinda simetric, rezultînd doi atomi cu cîte un electron liber sau neîmperecheat (structură radicalică sau atomară), scindarea numindu-se homolitică. Radicalii liberi care apar în mediul de reacţie sînt foarte reacţionabili, bogaţi în energie şi se recombină fie între ei, fie cu alte molecule din mediu, dînd diverşi produşi. $A..B \rightarrow \rightarrow A. + .B$

Scindarea homolitică este favorizată de următoarele condiţii de reacţie : lumină, căldură, influenţa metalelor sau a unor săruri metalice care conţin electroni singuratici, absenţa de catalizatori, mediu nepolar. Reacţiile homolitice au loc în general în solvenţi neutri sau în faza de vapori, iar amorsarea reacţiilor radicalice se face prin intermediul unor promotori care provin din molecule care se scindează uşor prin mecanismul homolitic, ca de exemplu peroxizi, peracizi etc. Aceste substanţe pun în libertate în mediul de reacţie, radicali liberi care declanşează mai departe reacţiile radicalice sau atomare.

— Legătura covalentă se poate scinda asimetric, dubletul de electroni sigma putînd să aparţină unui singur atom ; în consecinţă în mediul de reacţie vor apărea ioni şi deci reacţia este ionică : $A..B \rightarrow A^+ + \overline{\ddot{B}}$

Reacţiile care au loc după acest mecanism se numesc criptoionice (au loc prin ioni ascunşi de tip carbenium-carbocation şi carbeniat-carb anion). Ele sînt favorizate de următoarele condiţii : mediu polar, prezenţa de catalizatori, absenţa luminii. Carbocationii formaţi într-o reacţie criptoionică prezintă un deficit de electroni (sextet electronic), iar carbanionii prezintă un surplus de electroni (octet electronic). Carbocationii vor prezenta afinitate pentru reactanţi anionici şi carbanionii vor prezenta afinitate pentru reactanţi cationici.

Aceste două mecanisme de reacţie, homolitic şi heterolitic se întîlnesc şi la combinaţiile organice nesaturate caracterizate prin prezenţa în molecula lor a electronilor π. Dubletul de electroni π este în general mai mobil, mai uşor deplasabil comparativ cu dubletul de electroni σ, care este rigid. În funcţie de condiţiile de reacţie, dubletul de electroni π poate suferi următoarele deplasări :

— Desfacerea simetrică sau homolitică a dubletului π cu obţinerea unei structuri a substanţei, de tip diradicalic :

$$C = C \leftrightarrow \dot{C} - \dot{C}$$

— Desfacerea asimetrică sau heterolitică a dubletului π cu apariţia unei structuri criptoionice :

$$C = C \leftrightarrow \overset{+}{C} - \overline{\ddot{C}}$$

În cele ce urmează vom prezenta cîteva exemple de reacţii homolitice şi heterolitice, atît pentru substanţele organice care conţin numai legături covalente σ, cît şi pentru substanţele organice care conţin legături π.

Este cunoscut că reacţiile de introducere a halogenilor în molecula hidrocarburilor alifatice sau în molecula hidrocarburilor aromatice cu catenă laterală, au loc numai la lumină, în absenţă de catalizatori.

Mecanismul decurge după următoarea schemă homolitică : molecula de clor se scindează sub acţiunea luminii în atomi liberi de clor, bogaţi în energie, care extrag un atom de hidrogen din molecula hidrocarburii, rezultînd un radical liber. Acest radical liber bogat în energie se combină cu o altă moleculă de clor extrăgînd un atom din aceasta pentru a forma

derivatul halogenat organic şi un alt atom liber de clor, care la rîndul său atacă din nou molecula de derivat halogenat organic pentru a forma un derivat dihalogenat ş.a.m.d. (reacţia este înlănţuită).

$$Cl_2 + h\nu \rightarrow 2\ Cl\cdot$$
$$CH_4 + Cl\cdot \rightarrow CH_3\cdot + HCl$$
$$CH_3\cdot + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + Cl\cdot$$
$$CH_3Cl + Cl\cdot \rightarrow CH_2Cl\cdot + HCl$$
$$CH_2Cl\cdot + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl_2 + Cl\cdot$$
$$CH_2Cl_2 + Cl\cdot \rightarrow CHCl_2\cdot + HCl$$
$$CHCl_2\cdot + Cl_2 \rightarrow CHCl_3 + Cl\cdot$$
$$CHCl_3 + Cl\cdot \rightarrow CCl_3\cdot + HCl$$
$$CCl_3\cdot + Cl_2 \rightarrow CCl_4 + Cl\cdot$$

În mod analog are loc reacţia de clorurare în catena laterală a toluenului în prezenţa luminii :

$$Cl_2 + h\nu \rightarrow 2\ Cl\cdot$$
$$C_6H_5CH_3 + Cl\cdot \rightarrow C_6H_5CH_2\cdot + HCl$$
$$C_6H_5CH_2\cdot + Cl_2 \rightarrow C_6H_5CH_2Cl + Cl\cdot$$
$$C_6H_5CH_2Cl + Cl\cdot \rightarrow C_6H_5CHCl\cdot + HCl$$
$$C_6H_5CHCl\cdot + Cl_2 \rightarrow C_6H_5CHCl_2 + Cl\cdot$$
$$C_6H_5CHCl_2 + Cl\cdot \rightarrow C_6H_5CCl_2\cdot + HCl$$
$$C_6H_5CCl_2\cdot + Cl_2 \rightarrow C_6H_5CCl_3 + Cl\cdot$$

O altă reacţie care decurge după acelaşi mecanism este nitrarea hidrocarburilor alifatice sau a hidrocarburilor aromatice cu catenă laterală.

Nitrarea se face cu ajutorul acidului azotic diluat după metoda lui Konovalov. Mecanismul este prin radicali liberi, schema fiind următoarea :

$$HONO_2 + h\nu \rightarrow HO\cdot + NO_2\cdot$$
$$CH_4 + NO_2\cdot \rightarrow CH_3\cdot + HNO_2$$
$$CH_3\cdot + NO_2\cdot \rightarrow CH_3 - NO_2$$

În cazul toluenului nitrarea are loc după următoarea schemă :

$$HONO_2 + h\nu \rightarrow HO\cdot + NO_2\cdot$$
$$C_6H_5CH_3 + NO_2\cdot \rightarrow C_6H_5CH_2\cdot + HNO_2$$
$$C_6H_5CH_2\cdot + NO_2\cdot \rightarrow C_6H_5CH_2NO_2$$

În afară de reacţiile homolitice prin radicali liberi, în seria alifatică se întîlnesc şi reacţii heterolitice care decurg prin carbocationi sau carbanioni (criptoioni).

Astfel, hidroliza în mediu alcalin a unui compus halogenat simplu, iodmetanul, decurge după mecanismul heterolitic :

$$HO^- + H_3C - I \rightarrow HO - CH_3 + I^-$$

În molecula iodmetanului, polarizarea legăturii C — I (cu C pozitiv şi I negativ) creează un centru sărac în electroni, electrofil la C. Atomul

de carbon poate deci reacționa cu un reactant anionoid sau nucleofil (prezintă afinitate față de nuclee atomice) cum este HO^-.

În seria aromatică întîlnim de asemenea reacții heterolitice ca de exemplu halogenarea în nucleul benzenic sau nitrarea în nucleul benzenic, care decurg în prezență de catalizatori și în absența luminii.

Mecanismul reacției de halogenare a benzenului este următorul:

$$Cl_2 + AlCl_3 \text{ (catalizator)} \rightarrow AlCl_4^-Cl^+$$

$$C_6H_6 + Cl^+ \rightarrow C_6H_5Cl + H^+$$

Nitrarea benzenului decurge în următorul mod:

$$HONO_2 + 2H_2SO_4 \rightleftarrows NO_2^+ + H_3O^+ + 2\ HSO_4^-$$

$$C_6H_6 + NO_2^+ \rightarrow C_6H_5NO_2 + H^+$$

Am arătat mai sus că cele două mecanisme de reacție, homolitic și heterolitic, se întîlnesc și la combinațiile organice care prezintă legături π. Un caz interesant îl constituie adiția moleculei de acid bromhidric la o dublă legătură asimetrică, de exemplu propena.

În condițiile mecanismului heterolitic, propena prezintă o structură activată a dublei legături, dubletul de electroni π deplasîndu-se, sub acțiunea respingătoare de electroni a grupării metil, la capătul moleculei:

$$CH_2 = CH - CH_3 \leftrightarrow \overset{(-)}{C}H_2 - \overset{(+)}{C}H - CH_3$$

În condițiile de reacție caracteristice mecanismului heterolitic molecula acidului bromhidric este disociată în ioni negativi de brom care se vor adționa la centrul pozitiv al moleculei de propenă (atomul de carbon sărac în hidrogen) și ioni de hidrogen care vor adiționa la centrul negativ al moleculei de propenă (atomul de carbon bogat în hidrogen).

$$\overset{(-)}{C}H_2 - \overset{(+)}{C}H - CH_3 + H^+ + Br^- \rightarrow CH_3 - CHBr - CH_3$$

Este cunoscut faptul că la adiția acidului bromhidric gazos uscat la molecula de propenă, adiție care are loc în „condiții peroxidice", regula lui Markovnicov (după care adiția se face fixînd atomul de halogen la carbonul sărac în hidrogen al dublei legături, iar hidrogenul din acidul halogenat la carbonul bogat în hidrogen al dublei legături) nu mai este respectată. Această excepție de la regula lui Markovnicov este cunoscută sub numele de *efect de peroxid*. În realitate mecanismul adiției de acid halogenat decurge după schema homolitică, dubletul de electroni π din molecula de propenă scindîndu-se simetric, cu obținerea unei structuri activate de tip radicalic.

$$CH_2 = CH - CH_3 \leftrightarrow \dot{C}H_2 - \dot{C}H - CH_3$$

Acidul bromhidric gazos este oxidat de către peroxizii prezenți în atmosferă cu formare de atomi liberi de brom:

$$HBr + ROO\cdot \rightarrow Br\cdot + ROOH$$

Atomii liberi de brom declanșează o reacție de propagare a unui lanț de reacții cu molecula de propenă activată:

$$Br\cdot + \dot{C}H_2 - \dot{C}H - CH_3 \rightarrow Br - CH_2 - \dot{C}H - CH_3$$

$$Br - CH_2 - \dot{C}H - CH_3 + HBr \rightarrow Br - CH_2 - CH_2 - CH_3 + Br\cdot$$

În această reacție de propagare se regenerează atomi de brom liberi, care continuă lanțul de reacții. Atomul liber de brom atacă acel atom de carbon al dublei legături la care densitatea de electroni este maximă dînd naștere unui radical liber $BrCH_2-\dot{C}H-CH_3$ cu electronul liber la atomul de carbon vecin. Se explică astfel orientarea „anormală" a adiției acidului bromhidric în condiții peroxidice. Trebuie menționat că acest mecanism peroxidic este slab în cazul acidului clorhidric și inoperant în cazul acidului fluorhidric, care nu poate fi oxidat de către peroxizi cu formare de atomi liberi de fluor.

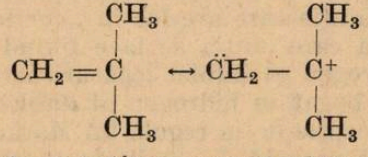
Un alt exemplu de mecanisme heterolitice și homolitice întîlnite la combinațiile organice nesaturate îl constituie reacțiile de polimerizare a olefinelor.

Polimerizarea hidrocarburilor olefinice se poate face în două moduri : polimerizarea prin reacții pas cu pas sau consecutive, cînd se obțin polimeri cu grad mic de polimerizare și polimerizarea prin reacții înlănțuite, cînd se obțin polimeri cu grad mare de polimerizare.

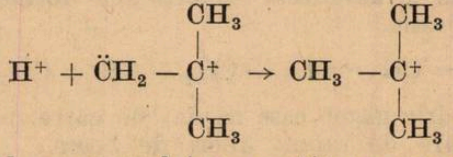
În polimerizarea prin reacții consecutive, o moleculă de monomer reacționează în ciocnire bimoleculară cu altă moleculă de monomer, rezultînd un dimer ; acesta reacționează prin ciocnire bimoleculară cu un alt monomer rezultînd un trimer ; trimerul reacționează în ciocnire bimoleculară cu un alt monomer rezultînd un tetramer. Dar în aceste reacții bimoleculare se consumă concentrația de monomer și consecința este că nu se mai pot obține polimeri cu grad mare de polimerizare (de unde și denumirea de reacții pas cu pas).

Polimerizarea descrisă mai sus decurge în prezența acidului sulfuric la temperatura camerei sau a acidului fosforic la 200°, deci în condițiile mecanismului heterolitic. Să examinăm cazul izobutenei sau metil propenei.

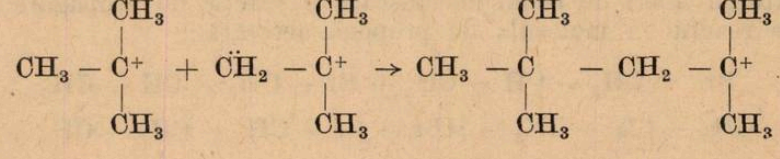
În condițiile de reacție caracteristice mecanismului heterolitic, izobutena va avea o structură activată, dubletul de electroni π deplasîndu-se în modul următor sub influența respingătoare de electroni a grupărilor metilice :



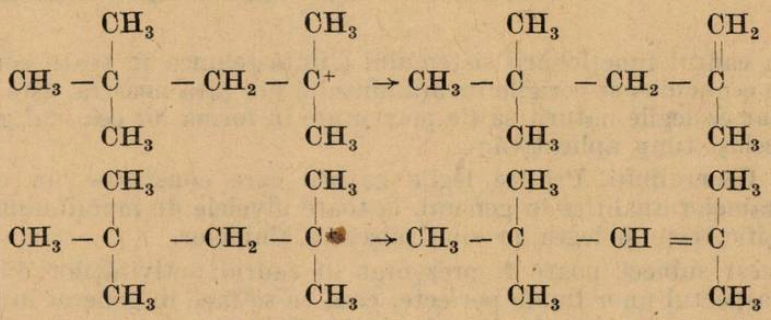
Catalizatorul acid va acționa asupra structurei activate a dublei legături cedînd un proton cu formarea unui carbocation al monomerului :



Carbocationul monomerului va reacționa cu o moleculă de monomer activată formînd un carbocation al dimerului :



Carbocationul dimerului se poate stabiliza în două moduri, prin eliminarea unui proton de la unul din metilii vecini sau de la metilen cu formarea dimerului :



Dar carbocationul dimerului poate reacționa mai departe cu o altă structură activată a unui monomer formînd un carbocation al trimerului, care fie se stabilizează prin eliminarea unui proton cu regenerarea catalizatorului acid, fie reacționează cu un alt monomer pentru a forma final un tetramer.

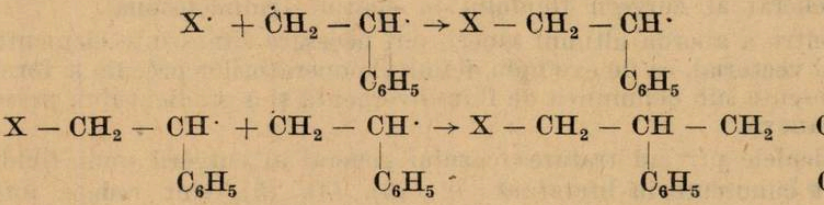
În cazul polimerizării cu obținere de macropolimeri, mecanismul de reacție este homolitic, prin radicali liberi.

Această polimerizare este caracteristică pentru derivații vinilici cum sînt : clorura de vinil, stirenul, acetatul de vinil, nitrilul acrilic, acroleina, acrilonitrilul etc.

De exemplu, stirenul suferă la conservare în stare pură sau la încălzire o așa numită „polimerizare spontană", rezultînd un polimer cu grad mare de polimerizare.

Polimerizarea decurge după următorul mecanism :

Sub acțiunea luminii sau a unor peroxizi organici apar în mediu radicali liberi bogați în energie, de tip $X^{\cdot}$, care reacționează cu structura activată a moleculei de stiren (de tip radicalic) formînd un radical liber care se polimerizează în reacția de propagare, cu obținerea unui macroradical :



Acești radicali liberi intermediari nu pot fi izolați din cauza marii lor reactivități. Viața unui asemenea radical este foarte scurtă ; reacțiile lanțului se repetă în succesiune foarte rapidă.

Final, macroradicalul se stabilizează cu obținerea polimerului. Această stabilizare se poate face în două moduri : doi macroradicali se combină între ei într-o reacție de dimerizare, sau se disproporționează prin cedarea unui atom de hidrogen de către un macroradical (se obține un polimer nesaturat) celuilalt macroradical (se formează un polimer saturat).

Acestea au fost cîteva exemple de reacții heterolitice și homolitice întîlnite în chimia organică.

DEMONSTRAREA CONSECVENTĂ ȘI PEDAGOGICĂ A ECUAȚIEI GENERALE DE MIȘCARE A FLUIDELOR REALE

Prof. *D. MILCO VEANU*, Inst. de ingineri Hunedoara

În cadrul funcționării sistemului știință-tehnică în toate compartimentele economiei și verigile învățămîntului din țara noastră, este indicat și necesar ca legile naturii să fie prezentate în forma lor cea mai generală și în același timp aplicativă.

1. Generalități. Printre legile naturii care constituie un obiectiv al programelor analitice în general, la toate nivelele de învățămînt tehnic și științific, este și legea privind mișcarea fluidelor.

Acest subiect poate fi prezentat în cadrul activităților didactice, fie sub aspectul unor fluide perfecte, ceea ce se face în general în învățămîntul nostru general, sau sub acela al unor fluide reale. Aceasta se reduce în final la a exclude sau a lua în considerație vîscozitatea fluidului, la deducerea ecuației de mișcare a fluidelor.

Să redăm părerea lui R. Feynman (1, vol. II) cu privire la alegerea aspectului sub care trebuie prezentată, în cadrul unei prelegeri didactice, această importantă lege din fizică: „Cînd eliminăm termenul de vîscozitate, vom face o aproximație care descrie o oarecare substanță ideală și nu apa reală. J. von Neumann a fost conștient de diferența colosală dintre ceea ce se întîmplă cînd nu există termenul vîscos și cînd există și a fost de asemenea conștient că, în decursul dezvoltării hidrodinamicii, pînă în anul 1900 aproximativ, interesul principal era dedicat rezolvării unor probleme matematice frumoase, în această aproximație care nu avea aproape nimic de-a face cu fluidele reale. El a caracterizat teoreticianul care făcea asemenea analize ca un om care studia *apă uscată*. Astfel de analize lasă la o parte o proprietate *esențială* a fluidului".

Legea mișcării fluidelor incompresibile vîscoase, și ne vom ocupa de cazul regimului permanent (staționar), poate fi dedusă, prezentată și interpretată plecînd de la considerațiuni cu totul particulare, ca de exemplu, curgerea fluidului printr-o conductă orizontală sau plecînd de la cazul general al curgerii fluidului în spațiul tridimensional.

Pentru a aborda ultimul aspect sînt necesare cunoștințe elementare de calcul vectorial, ca de exemplu definițiile operatorilor precum și formulele cunoscute sub denumirea de flux-divergență și a gradientului, prezentate în anexă.

Calculele privind tratarea cazului general al curgerii unui fluid și care sînt cunoscute în literatură: (2), (3), (4), (5), sînt redate într-o expunere generală și concisă în cadrul punctelor (a), (b) și (d).

Punctul (c) tratează termenul, din ecuația generală de mișcare a fluidelor, care descrie influența vîscozității fluidului.

În literatura apărută (1, vol. II) (4, vol. II), acest termen se deduce, cu ajutorul unei tehnici matematice speciale și pe baza ipotezei că fluidul poate fi asimilat cu un solid omogen elastic. După cum se poate constata, această tehnică de calcul este diferită de aceea utilizată pentru deducerea celorlalți termeni din ecuația generală de mișcare a fluidelor, ceea ce conduce la o inconsecvență în tratarea subiectului și de asemenea ea nu are un caracter de generalitate.

Spre deosebire de acest aspect, în cadrul punctului (c), este prezentat un calcul al termenului privind vîscozitatea fluidului, consecvent faţă de tehnica de calcul utilizată pentru tratarea punctelor (a), (b) şi (d) şi care conduce la expresia cunoscută şi utilizată în prezent pentru a descrie influenţa vîscozităţii la curgerea unui fluid. Prelucrarea vectorială a expresiei deduse în cadrul punctului (c) constituie de fapt contribuţia originală a acestui studiu.

2. **Ecuaţia generală de mişcare a fluidelor reale.** Ecuaţia generală de mişcare a fluidelor reale se deduce scriind ecuaţia fundamentală a dinamicii (legea a doua lui Newton), aplicată unui fluid vîscos în mişcare. Cu alte cuvinte trebuie să scriem că toate forţele inclusiv forţele de inerţie, de presiune exterioară şi de frecare vîscoasă, care acţionează asupra unităţii de masă dintr-un fluid în mişcare, sînt în echilibru.

În fig. 1 — este reprezentat un volum V de fluid, limitat de suprafaţa S, avînd densitatea ρ şi valoarea coeficientului de vîscozitate dinamică egală cu η. Unitatea de masă de fluid este supusă acţiunii următoarelor forţe :

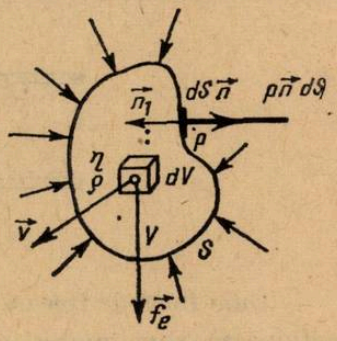


Fig. 1.

a) *Forţa datorată rezultantei presiunilor* :

$$\vec{P} = \iint_S p \cdot \vec{n}_1 \cdot dS \quad \text{respectiv} \quad \vec{P} = -\iint_S p \cdot \vec{n} \cdot dS \tag{1}$$

în care p este scalarul presiune exercitată.

b) *Forţa datorată cîmpului exterior* :

$$\vec{F}_e = \iiint_V \rho \cdot \vec{f}_e \cdot dV \tag{2}$$

în care $\vec{f}_e$ este cîmpul exterior, de exemplu gravitaţia, care acţionează asupra unităţii de volum de fluid.

Dacă acest cîmp derivă dintr-un potenţial U, adică :

$$\vec{f}_e = -\nabla U$$

rezultă expresia :

$$\vec{F}_e = -\iiint_V \rho \cdot \nabla U \cdot dV \tag{2'}$$

c) *Forţa de frecare datorată vîscozităţii fluidului* :

Valoarea forţei elementare de frecare vîscoasă f_K, se deduce pe baza formulei lui Newton :

$$f_k = -\eta \frac{v_0}{h}$$

în care : η este coeficientul de vîscozitate dinamică, v_0 viteza de deplasare a plăcii, iar h distanța între cele două plăci. În fig. 2 este reprezentat schematic fenomenul de antrenare vîscoasă între aceste două plăci.

Să exprimăm diferențial variația vitezei în masa de fluid dintre cele două plăci :

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}h}\vec{n}_1 = \nabla v$$

în care : ∇v este un gradient de-a lungul versorului $\vec{n}_1$ perpendicular pe elementul de suprafață $\mathrm{d}S$.

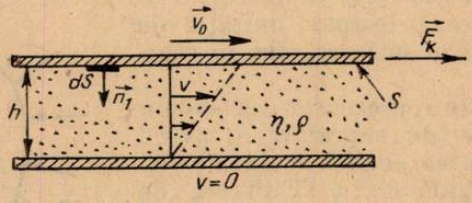


Fig. 2.

Cum forța de frecare este proporțională cu suprafața pe care aceasta acționează vom înmulți acest gradient cu $\vec{n}_1\,\mathrm{d}S$ și vom integra apoi pentru toată suprafața S. Vom avea atunci următoatea expresie pentru forța de frecare F_K relativă la întreaga suprafață S :

$$F_K = -\eta \iint_S \vec{n}_1 \cdot \nabla v \cdot \mathrm{d}S$$

Introducem în această expresie versorul exterior $\vec{n} = -\vec{n}_1$ și atunci rezultă expresia :

$$F_K = \eta \iint_S \vec{n} \cdot \nabla v \cdot \mathrm{d}S \tag{3}$$

d) *Forța de inerție* :

Această forță se datorează existenței unei accelerații în mișcarea fluidului ; valoarea acestei forțe, pentru un regim permanent (staționar), este definită de integrala :

$$\vec{F}_i = -\iiint_V \varrho \cdot \dot{\vec{v}} \cdot \mathrm{d}V \tag{4}$$

Ecuația de echilibru dinamic, care conduce la ecuația de mișcare, se obține sumînd și egalînd cu zero toate forțele definite mai sus, adică :

$$\vec{F}_i + \vec{P} + \vec{F}_e + \vec{F}_K = 0 \tag{5}$$

Introducînd expresiile (1), (2'), (3) și (4) deduse pentru valorile acestor forțe se obține relația :

$$-\iiint_V \varrho \cdot \dot{\vec{v}} \cdot \mathrm{d}V - \iint_S p \cdot \vec{n} \cdot \mathrm{d}S - \iiint_V \varrho \cdot \nabla U \cdot \mathrm{d}V + \iint_S \eta \cdot \vec{n} \cdot \nabla v \cdot \mathrm{d}S = 0 \tag{5'}$$

Pe baza formulei gradientului (A.1) din anexă, termenul al doilea se poate transforma în felul următor :

$$\iint_S p \cdot \vec{n} \cdot dS = \iiint_V \nabla p \cdot dV \tag{6}$$

iar pe baza formulei fluxului-divergență (A.2) din anexă, termenul al patrulea se poate transforma în felul următor :

$$\iint_S \vec{n} \cdot \nabla v \cdot dS = \iiint_V \nabla^2 v \cdot dV \tag{7}$$

Deoarece forța de frecare vîscoasă acționează paralel cu viteza de mișcare a fluidului, putem exprima vectorial formula (7) :

$$\vec{F}_K = \eta \iiint_V \nabla^2 \vec{v} dV \tag{7'}$$

Pe baza noilor exprimări, relația (5') poate fi scrisă astfel :

$$\iiint_V (-\rho \cdot \vec{v} - \nabla p - \rho \cdot \nabla U + \eta \cdot \nabla^2 \vec{v}) dV = 0 \tag{8}$$

Cum volumul V de fluid a fost ales arbitrar, pentru ca această egalitate să fie satisfăcută, trebuie ca :

$$\rho \vec{v} = -\nabla p - \rho \nabla U + \eta \nabla^2 \vec{v} \tag{9}$$

Aceasta este ecuația lui Navier-Stokes pentru mișcarea vîscoasă (reală) a fluidelor în regim permanent (staționar).

Ecuația are importante utilizări în știință și tehnică

3. **Ecuația lui Bernoulli.** Vom presupune acum, ca un caz particular, că vîscozitatea nu este importantă, adică vom omite ultimul termen din ecuația (9). Procedînd în felul acesta facem o aproximație și descriem un fluid ideal (perfect).

Ecuația (9) va lua în aceste condiții forma :

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - \nabla U$$

Să înmulțim scalar ambii membri ai acestei ecuații cu deplasarea elementară $d\vec{r} = \vec{v} dt$, efectuată de-a lungul traectoriei punctului material de fluid ; se obține în acest caz expresia :

$$\vec{v} d\vec{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p \cdot d\vec{r} - \nabla U \cdot d\vec{r}$$

respectiv :

$$d\left(\frac{1}{2} \vec{v}^2\right) = -\frac{1}{\rho} \nabla p \cdot d\vec{r} - \nabla U \cdot d\vec{r}$$

Ținînd seama că :

$$\nabla p \cdot dr = \frac{dp}{dr} dr \text{ și } \nabla U \cdot dr = \frac{dU}{dr} \cdot dr$$

rezultă după reduceri :

$$d\left(\frac{1}{2}v^2 + \frac{p}{\rho} + U\right) = 0$$

Integrînd odată se obţine ecuaţia :

$$\frac{1}{2}v^2 + \frac{p}{\rho} + U = \text{constant} \qquad (10)$$

Aceasta este ecuaţia lui Bernoulli, caz particular al ecuaţiei lui Navier-Stokes.

În prezentarea făcută a fost neglijat al doilea coeficient al vîscozităţii (1, vol. II).

ANEXĂ

Formulele lui Gauss.
Formula gradientului :

$$\iint_S \vec{n} \cdot \varphi \cdot dS = \iiint_V \nabla\Phi \cdot dV \qquad (A,1)$$

Formula flux-divergenţă :

$$\iint_S \vec{n} \cdot \vec{a} \cdot dS = \iiint_V \nabla\vec{a} \cdot dV. \qquad (A.2)$$

BIBLIOGRAFIE

1. *Feynman R,* 1970 ; Fizica modernă, vol. II (traducere din limba engleză) ; Editura Tehnică Bucureşti.
2. *Vîlcovici V.,* 1949 ; Curs de Mecanică, vol. II (Plasticitate, Hidromecanică) ; litograf. Universitatea Bucureşti.
3. *Vescan T.,* 1957 ; Fizică teoretică, vol. I ; Tipografia Învăţămîntului Bucureşti.
4. *Draganu M.,* 1957 ; Introducere matematică în fizica teoretică modernă, vol. I ; Editura Tehnică, Bucureşti.
5. *Carafoli E,.* 1957 ; Aerodinamica vitezelor mari ; Editura Academiei RSR, Bucureşti.

ASUPRA CONCEPTULUI DE TRANSFORMARE SIMPLĂ

Prof. dr. *B. F. ROTHENSTEIN,* Institutul Politehnic „Traian Vuia" Timişoara

Prin transformare simplă se înţelege o succesiune de stări de echilibru termodinamic, parametrii macroscopici ce caracterizează starea gazului variind după o anumită lege simplă. Transformările simple pot fi realizate cu ajutorul dispozitivului din figură, care asigură în fiecare moment o egalitate între temperatura gazului ideal şi temperatura unicului rezervor de căldură cu care se află în contact termic, precum şi o egalitate între presiunile exercitate pe cele două feţe ale pistonului mobil (Fig. 1).

Se consideră drept stare inițială, starea în care temperatura gazului ideal este egală cu tempertaura rezervorului de căldură T_0, iar presiunea interioară este egală cu presiunea atmosferică p_0 (în această stare „resortul" solidar cu pistonul este nedeformat). Volumul inițial al gazului fie V_0. Forța dezvolvată de „resort", care după cîte vom vedea trebuie să sa-

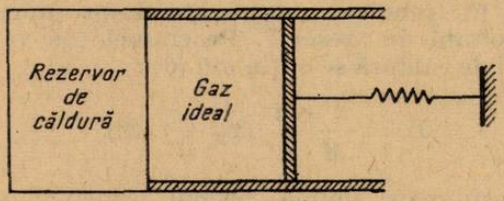


Fig. 1.

tisfacă în funcție de caracterul transformării anumite condiții, se exprimă sub forma :

$$F_{\text{„resort"}} = \mathrm{f}(x) \tag{1}$$

unde x reprezintă deplasarea pistonului din poziția corespunzătoare stării inițiale, caracterizată printr-o distanță a, a pistonului față de fundul cilindrului.

Considerînd că suprafața pistonului este egală cu unitatea, condiția de echilibru cere ca :

$$p = p_0 + \mathrm{f}(x) \tag{2}$$

de unde rezultă :

$$\mathrm{f}(x) = p - p_0 \tag{3}$$

Pentru a putea studia în continuare comportarea dispozitivului din Fig. 1, va trebui să facem anumite ipoteze asupra legăturii ce există între presiunea, volumul și temperatura gazului în starea de echilibru termodinamic. Această legătură este dată de ecuația de stare

$$\mathrm{F}(p, V, T) = 0 \tag{4}$$

care în cazul unui gaz ideal devine :

$$p \cdot (x + a) = M \cdot R \cdot T \tag{5}$$

unde M reprezintă masa gazului, iar R constanta generală a gazelor. Ținînd seama de (2) și (5) se obține :

$$\mathrm{f}(x) = \frac{M \cdot R \cdot T}{x + a} - p_0 \tag{6}$$

Particularizînd relația (6) pentru unele izoprocese se obține

$$\mathrm{f}(x)_{\text{IZOBAR}} = 0 \tag{7}$$

$$f(x)_{IZOTERM} = p_0\left(\frac{a}{a+x} - 1\right) = -p_0 \cdot \frac{x}{a+x} \tag{8}$$

$$f(x)_{IZOCOR} = \infty \tag{9}$$

pentru $x \geqslant a$.

Relaţiile (6—9) trebuiesc considerate drept programe de variaţie pentru forţa dezvoltată de „resort". Programele de variaţie ale temperaturii rezervorului de căldură se obţin din (6) :

$$T = \frac{x+a}{M \cdot R}(p_0 + f(x)) \tag{10}$$

Aplicînd transformării simple, primul principiu al termodinamicii sub forma :

$$dQ = dU + (p_0 + f(x)) \cdot dx \tag{11}$$

se obţine pentru căldura specifică C a procesului :

$$C = C_v + (p_0 + f(x)) \cdot \frac{dx}{dT} \cdot \frac{1}{M} \tag{12}$$

unde C_v reprezintă căldura specifică la volum constant.

Din (10) se obţine cu uşurinţă :

$$\frac{dx}{dT} = \frac{M \cdot R}{p_0 + f(x) + (a+x) \cdot \frac{df(x)}{dx}} \tag{13}$$

cu care relaţia (12) devine :

$$C = C_v + \frac{R}{1 + \frac{(a+x)}{p_0 + f(x)} \cdot \frac{df(x)}{dx}} \tag{14}$$

Relaţia (14) permite determinarea condiţiilor pe care trebuie să le satisfacă un „resort", pentru ca procesul pe care îl determină să se caracterizeze printr-o căldură specifică constantă. Dacă: $\frac{a+x}{p_0+f(x)} \cdot \frac{df(x)}{dx} = K$ (15) unde K reprezintă o constantă, atunci căldura specifică a procesului este constantă. Rezolvînd ecuaţia diferenţială (15)se obţine :

$$f(x)_{POLITROP} = p_0\left[\left(\frac{a+x}{a}\right)^K - 1\right] \tag{16}$$

Resortul care dezvoltă o forţă dată de (16) este un resort politrop. În cazul particular cînd gazul din cilindru încetează să se mai afle în contact termic cu rezervorul de căldură, atunci procesul considerat este adiabatic şi căldura specifică a gazului este în acest caz constantă şi egală cu zero. Înlocuind pe (15) în (14), se obţine făcînd $C = 0$:

$$K = -\frac{C_v + R}{C_v} = -\frac{C_p}{C_v} \tag{17}$$

și deci : $f(x)_{ADIABATIC} = p_0 \left[\left(\frac{a}{a+x} \right)^{\frac{C_p}{C_v}} - 1 \right]$ (18)

Se analizează în cele ce urmează procesul suferit de gazul ideal în cazul cînd resortul din Fig. 1 este un resort obișnuit care dezvoltă o forță de forma : $f(x) = k \cdot x$ (19)

unde k reprezintă constanta elastică a acestui resort.

Relația (2) furnizează pentru legătura dintre parametrii de stare în acest proces : $p - k \cdot x = p_0$; (20)

sau în funcție de volumul V, ocupat de gaz : $p - k \cdot (V - V_0) = p_0$. (21)

Pentru căldura specifică C a gazului în acest proces, se obține :

$$C = C_v + \frac{R}{1 + k \cdot \frac{a+x}{p_0 + kx}} \tag{22}$$

această transformare putînd servi drept exemplu de proces cu căldură specifică variabilă. Vom numi această transformare simplă „izoconstantă elastică".

Aplicînd relația (13) unui proces izobar ($f(x) = 0$), se obține :

$$\frac{1}{a} \frac{dx}{dT} = \frac{1}{T_0} \tag{23}$$

rezultînd că în acest caz, membrul stîng al relației (23) care reprezintă „coeficientul de dilatare" al dispozitivului din Fig. 1 este constant, ceea ce face ca el să poată fi utilizat drept „termometru", deplasarea x a pistonului fiind o funcție liniară de temperatură :

$$x = a \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right) \tag{24}$$

relație ce se obține cu ușurință prin integrarea relației (23)

Exemplele prezentate arată că ecuația unei anumite transformări (izotermă, izocoră, izobară, adiabată, izoconstantă elastică) poate fi stabilită dintr-o condiție de echilibru mecanic, cu condiția ca să fie cunoscută legea de variație a forței dezvoltate de „resortul" caracteristic transformării respective, cu deformarea sa. Rezultă că sensul fizic al ecuației unei transformări este o condiție de echilibru mecanic.

Întrucît toate relațiile stabilite pornesc de la relația (2), care exprimă o condiție de echilibru, ele nu se pot aplica evoluției sistemului decît dacă această evoluție este concepută drept o succesiune de stări de echilibru.

DISPERSIA LUMINII PRIN REFRACȚIE

Prof. *DUMITRU MANDA*, Giurgiu

1. — Istoric

Primele observații și cercetări experimentale asupra disperisiei luminii aparțin lui Newton (1672) și au la bază metoda refracției printr-o prismă. Un fascicul paralel de lumină albă, cade pe muchia unei prisme și dă pe un ecran o imagine deplasată și întinsă, sub forma unei benzi colorate, numită de Newton spectru, vezi fig. 1. Această bandă colorată este obținută datorită variației unghiului de refracție cu lungimea de undă. Comparînd spectrele obținute cu ajutorul unor prisme cu unghiuri egale, însă din substanțe diferite, se poate constata că spectrele nu sînt

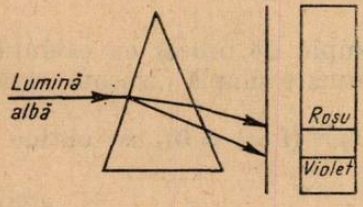


Fig. 1.

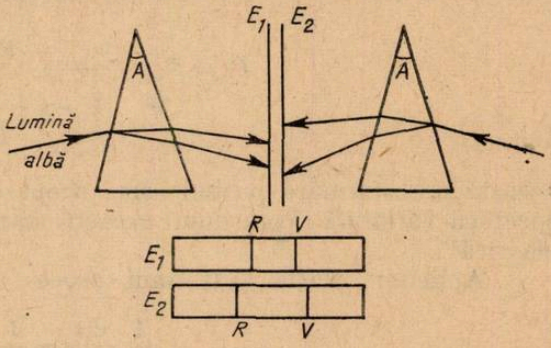


Fig. 2.

numai deviate sub unghiuri diferite datorită deosebirilor lui n pentru același λ, ci se întind și pe lungimi diferite datorită deosebirilor în mărimea dispersiei pentru diferitele substanțe, (vezi fig. 2).

Măsurînd indicele de refracție pentru diferite lungimi de undă putem să urmărim proprietățile dispersive ale substanței și să stabilim dependența $n = f(\lambda)$.

Spectrul luminii provenite de la Soare, este un spectru continuu, fapt ce presupune prezența în lumina solară a tuturor lungimilor de undă

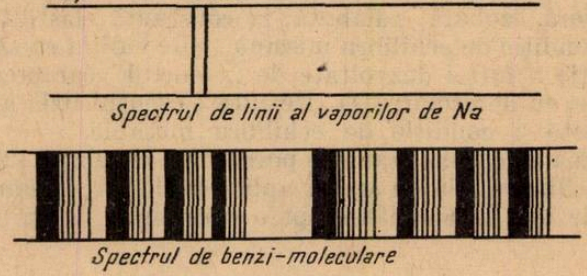


Fig. 3.

din domeniul vizibil. Mult mai tîrziu sînt descoperite spectrele de bandă și spectrele de linii (vezi fig. 3) precum și spectrele de dispersie ale luminii invizibile (infraroșii și ultravioletele).

În 1862 Le Roux descoperă la studiul refracției luminii albe printr-o prismă cu iod, că radiațiile albastre se refractă mai puțin decît cele roșii; el denumește fenomenul *dispersie anormală*.

În 1870 Christiansen constată fenomenul de dispersie anormală, la refracția printr-o prismă cu fuxină și pentru radiațiile violete. Kundt stabilește ulterior că există o legătură între fenomenul de dispersie anormală și cel de absorbție a luminii: toate corpurile care prezintă dispersia anormală într-un domeniu spectral oarecare, absorb foarte puternic lumina în acel domeniu.

Cercetările experimentale au dus la concluzia că pentru toate mediile transparente indicele de refracție n crește încet odată cu scăderea lungimii de undă (dispersie normală) pînă la o anumită distanță de banda de absorbție. În apropierea benzii de absorbție indicele de refracție variază brusc, descrescînd foarte mult înăuntrul benzii (dispersie anormală), ca apoi dincolo de bandă să crească lent odată cu scăderea lungimii de undă (vezi fig. 4).

Pentru dispersia luminii printr-o soluție de cianură funcția $n = f(\lambda)$ are reprezentarea grafică dată de fig. 4. Cercetări ulterioare constatării lui Kundt au arătat că pentru orice substanță curba de dispersie — graficul $n = f(\lambda)$ — este formată din domeniul de dispersie anormală, care corespund benzilor sau liniilor de absorbție și din domenii de dispersie normală, situate între aceste benzi.

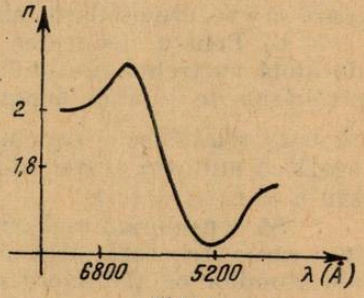


Fig. 4.

2. — Considerații teoretice asupra dispersiei.

a) Potrivit concepției lui Fresnel, lumina se propagă într-un mediu deosebit, eterul, cu proprietățile unui solid elastic, foarte rarefiat și care pătrunde în toate mediile obișnuite. Viteza undei luminoase depinde de proprietățile acestui eter, însă în mediile materiale (substanțe) prezența microparticulelor acestui mediu trebuie să aibă o influență asupra vitezei ei de propagare.

Ținînd seama de ideea lui Fresnel, Cauchy ajunge la o relație care exprimă variația indicelui de refracție cu lungimea de undă:

$$n = a + \frac{b}{\lambda_0^2} + \frac{c}{\lambda_0^4} + \ldots$$

unde λ_0 este lungimea de undă în vid, iar a, b, c sînt constante ale căror valori trebuie determinate experimental pentru fiecare substanță în parte. De remarcat faptul că expresia lui Cauchy este obținută cu mult înaintea descoperirii dispersiei anormale și reprezintă prima lucrare prin care se arată că teoria ondulatorie poate da o explicație fenomenului de dispersie.

După descoperirea dispersiei anormale și stabilirea legăturii acesteia cu absorbția luminii, Sellmeier concepe o teorie completă a fenomenului bazată pe ideea unei interacții între microparticulele de substanțe și eter. El susține că microparticulele mediului de propagare posedă frecvențe proprii de oscilație, caracteristice substanței date, care explică existența unor benzi de absorbție bine determinate și că existența unor asemenea

frecvenţe proprii duce la o variaţie a unghiului de refracţie cu lungimea de undă.

Teoria lui Sellmeier reuşeşte să lege o constantă optică, viteza luminii, de ceilalţi parametri de propagare ai mediului, de perioadele proprii ale microparticulelor sale.

Ulterior teoria electronică stabileşte natura particulelor oscilante, electroni şi ioni şi reduce interacţia luminii cu substanţa la interferenţa undei incidente cu undele secundare care iau naştere în urma vibraţiilor electronilor şi ionilor excitaţi de cîmpul undei incidente.

După cum indică efectul Zeeman, electronul joacă un rol principal în viaţa optică a atomului, fapt pentru care convenim, pentru simplificarea problemei, să analizăm numai interacţia luminii cu electronul; toate raţionamentele însă rămîn valabile şi pentru celelalte particule încărcate care intră în structura atomului. În mod deosebit în domeniul undelor lungi trebuie să se ţină seama de influenţa ionilor care sînt în stare să execute oscilaţii relativ lente, cu emisie în infraroşu.

b) Pentru deducerea variaţiei indicelui de refracţie cu lungimea de undă va trebui căutat modul în care constanta dielectrică a mediului străbătut de lumină depinde de frecvenţa cîmpului alternativ şi apoi pe baza relaţiei $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$, unde vom considera permeabilitatea magnetică egală cu unitatea (sistemul de unităţi Gauss), să stabilim relaţia $n = f(\lambda)$ sau $n = f(\omega) = f(\nu)$.

Să considerăm moleculele sau atomii unui dielectric ca nişte sisteme în a căror structură intră electroni aflaţi în echilibru cu sarcinile pozitive ale atomilor ce alcătuiesc substanţa dată. Într-un cîmp electric exterior aceste sarcini se deplasează din poziţia de echilibru la o distanţă r, transformînd sistemul, presupus neutru, într-un sistem electric cu un moment electric $\vec{p} = \vec{r} \cdot e$. Dacă în unitatea de volum a dielectricului considerat s-ar afla N atomi, momentul electric al unităţii de volum ar avea valoarea maximă (polarizarea $N.p = N.e.r. = P$).

Se consideră că dielectricul dat este format dintr-un singur fel de atomi şi că fiecare atom ar avea un singur electron în stare să se deplaseze sub acţiunea cîmpului exterior, şi, mai mult, că este posibilă o singură direcţie de orientare a dipolilor. În caz contrar, pentru mediile reale, polarizarea ar fi o sumă vectorială $\vec{P} = \sum N_i e_i \vec{r}_i = \sum \vec{p}_i$ unde indicele i se referă la felul i de sarcini electrice.

Cunoscînd polarizarea electrică a mediului se poate calcula constanta sa dielectrică ε, pentru că se ştie că $\vec{D} = \varepsilon\vec{E} = \vec{E} + 4\pi\vec{P}$, unde $\vec{D}$ este inducţia electrică a mediului şi $\vec{E}$ cîmpul electric exterior.

Deci $D = \varepsilon E = E + 4\pi Ner$, unde r reprezintă deplasarea dintre sarcinile electrice ale atomului, deplasare determinată de cîmpul exterior.

Din relaţia de mai sus rezultă dependenţa permitivităţii electrice de pulsaţia (frecvenţa) cîmpului iniţial, de excitaţie şi deci dependenţa indicelui de refracţie de cîmpul electric al undei luminoase primare (incidente), adică $n = f(\omega) = f(\lambda)$.

Problema dispersiei, $n = f(\lambda)$, se reduce astfel la determinarea deplasării r a electronului sub acţiunea cîmpului exterior, periodic variabil, ţinîndu-se seama atît de forţele exercitate de celelalte părţi ale atomului respectiv cît şi de atomii înconjurători.

Vom urmări deci mișcările forțate, oscilațiile electronului optic, presupus destul de slab legat de atom pentru ca deplasările suferite sub acțiunea undei luminoase să fie apreciabile la nivelul atomului.

c) Forțe care pot acționa asupra electronilor optici.

1. — *Forța cvasielastică.* Experiența arată că atomii polarizați ai tuturor substanțelor emit lumină practic monocromatică, ceea ce ar corespunde unor oscilații armonice ale sistemelor radiante. Deci forța care menține electronul în poziție de echilibru ar trebui să aibe caracterul unei forțe elastice : $F = -fr$. Ecuația diferențială de mișcare a electronului ar fi în acest caz : $m\ddot{r} = -fr$, umde m este masa electronului. Soluția acestei ecuații este : $r = r_0 e^{-it\omega_0}$, unde r_0 este amplitudinea oscilației, ω_0 este $\sqrt{\frac{f}{m}}$, pulsația oscilației proprii electronului optic și care depinde de natura atomului.

2. — *Forța de frînare.* Ideea existenței oscilațiilor armonice este valabilă dacă sistemul electron-atom ar fi un oscilator armonic care nu comunică energetic cu exteriorul. În realitate electronul adus în stare de excitație cedează treptat energia suplimentară și deci amplitudinea oscilațiilor sale va descrește în timp. Așadar oscilația electronului nu poate avea un caracter riguros armonic, ci un caracter de mișcare oscilatorie amortizată. Sînt foarte mulți factori fizici care condiționează amortizarea oscilațiilor electronului optic. Sigur este că toți duc la micșorarea amplitudinii de oscilație și au efect de frînare a mișcării electronului. Simplificînd mai mult problema se presupune că aceste forțe de frînare ar fi proporționale cu viteza electronului, adică de forma :

$G = -g\frac{dr}{dt} = -g\dot{r}$, unde G este forța de frînare și g o constantă ce depinde de natura atomului.

3. — *Forța impusă.* Oscilațiile forțate ale electronului iau naștere sub acțiunea undei luminoase care se propagă în dielectricul considerat. Vom considera efectele componentei magnetice (H) a cîmpului electromagnetic neglijabile în raport cu cele ale componentei electrice (experiența justifică pentru marea majoritate a cazurilor această neglijare). Admitem deci că efectele undei luminoase, efectele optice, sînt determinate numai de cîmpul electric E al undei.

Deci asupra electronului acționează o forță exterioară eE, unde $E = E_0 \cos\omega t$, sau $E = E_0 \sin\omega t$, este cîmpul undei monocrome la un moment dat. Această ipoteză este valabilă dacă putem neglija influența atomilor vecini care se polarizează sub acțiunea undei incidente și care vor acționa ca niște forțe exterioare asupra atomului considerat.

Pentru gazele rarefiate presupunerea făcută este corectă, dar pentru gaze la presiuni ridicate sau pentru solide și lichide trebuie să se țină seama și de această influență ceea ce, evident, va duce la schimbarea expresiei pentru cîmpul care acționează efectiv asupra electronului optic. Vom simplifica deci și mai mult problema neglijînd influența atomilor vecini.

Ținînd seama numai de cele trei forțe care ar putea influența poziția electronului optic din atom, obținem pentru ecuația sa de mișcare :

$$m\ddot{r} = eE - fr - g\dot{r}$$

Rezolvînd această ecuație diferențială se determină valoarea lui r și deci polarizarea $P = Np = Ner$, determinînd astfel pe $\varepsilon = n^2$ în

funcție de constantele atomului și de pulsația undei incidente (e, m, ω_0, g, ω) adică găsim dependența căutată : $n = f(\lambda) = f(\omega)$.

Să analizăm deocamdată cazul cînd ar putea fi neglijată forța de rezistență, adică $G = 0$. Fie $E = E_0 \sin\omega t$, cîmpul electric al undei incidente. Ecuația de mișcare a electronului optic este în acest caz : $m\ddot{r} = eE_0 \sin\omega t - fr$ sau împărțind prin r obținem :

$$\ddot{r} + \frac{f}{m} \cdot r = \frac{e}{m} E_0 \sin\omega t$$ și ținînd seama că $\omega_0^2 = \frac{f}{m}$, ecuația devine :

$$\ddot{r} + \omega_0^2 r = \frac{e}{m} E_0 \sin\omega t,$$ a cărei soluție este de forma $r = A\sin\omega t$, unde

$$A = \frac{eE_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}$$ și deci din expresia polarizării este :

$$P = Ner = N \frac{e^2}{m} E_0 \frac{\sin\omega t}{\omega_0^2 - \omega^2}$$; pe baza relației $D = \varepsilon E = E + 4\pi P$

vom obține :

$$\varepsilon = n^2 = 1 + \frac{4\pi P}{E} = 1 + \frac{4\pi N e^2}{m(\omega_0^2 - \omega^2)},$$ relație din care rezultă

că n, indicele de refracție, depinde de pulsația (frecvența) cîmpului electric exterior.

Din relația : $n^2 = 1 + \frac{4\pi N e^2}{m(\omega_{0\,0}^2 - \omega^2)}$, adică din $n = f(\omega) = f(\lambda)$

se constată că în intervalul de la $\omega = 0$ pînă la $\omega = \omega_0$ avem $n > 1$, unde indicele de refracție n, crește împreună cu ω (dispersie normală) ; pentru $\omega = \omega_0$, indicele de refracție este $n = \pm\infty$; de la $\omega = \omega_0$ pînă la $\omega = \infty$, $n < 1$ și crește de la $-\infty$ pînă la 1 (dispersie normală).

Faptul că $n = \pm\infty$, nu are sens fizic ne arată că ipoteza simplificatoare potrivit căreia mișcarea electronilor este lipsită de rezistență ($G = 0$) nu corespunde realității ; dacă se ține seama și de frînare se obține o expresie pentru n a cărei reprezentare grafică este dată de fig. 5.

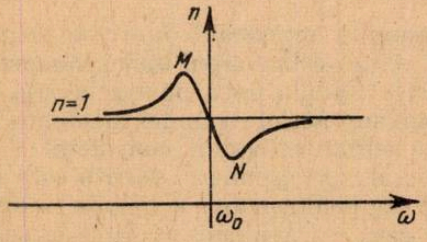


Fig. 5.

Intervalul M N este domeniul dispersiei anormale, în care n descrește în timp ce crește pulsația cîmpului electric exterior.

De reținut este faptul că rezultatele cercetărilor experimentale concordă destul de bine cu rezultatele considerațiilor teoretice, lucru evidențiat de asemănarea curbelor de dispersie obținute pe cale experimentală cu cele obținute pe cale teoretică.

Dacă se ia în considerație faptul că în substanțe pot exista și alte tipuri de sarcini electrice cu frecvențe proprii diferite ω_{0i} și cu mase diferite m_i și sarcini diferite e_i, atunci expresia $n = f(\omega) = f(\lambda)$ ar fi dată de :

$$n^2 = 1 + 4\pi \sum \frac{N_i e_i^2}{m_i} \frac{1}{(\omega_{0i}^2 - \omega^2)},$$

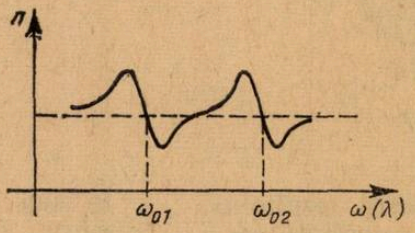


Fig. 6.

iar curba de dispersie s-ar descompune într-o serie de ramuri în care intervalele de dispersie normală, unde n crește cu ω, vor alterna cu intervale de dispersie anormală, unde n descrește cu ω, fapt dovedit și prin cercetările experimentale, vezi fig. 6.

BIBLIOGRAFIE

I. E. Tamm — Bazele teoriei electricității ed. Tehn. 1957 pag 618—619 .
S.E. Friș — A. V. Timoreva — Fizica generală vol. III ed. Tehn. 1954 pag. 130—140.
S. G. Landsberg — Optica ed. Tehn. 1951 pag. 361—371.

LECȚIE DE FIZICĂ LA ANUL II REAL

Prof. *IULIAN BUZU*, Roșiorii de Vede

Desfășurarea orei	Observații și comentarii
Tema lecției : *Tensiunea superficială* :	O temă „oarecare" a cărei predare urmează o linie clasică (cu verigi) dar care și așa permite o activizare intensă a clasei.
Verificarea cunoștințelor Eleva N. M. este invitată să vorbească despre presiunea internă. Eleva, conștiincioasă din fire, începe să expună cele învățate.	
O primă greșeală necesită intervenția profesorului care apelează la elevii din clasă. Este vorba de	O chestiune elementară : Elevii nu sînt obișnuiți să gîndească desenele. Întrebarea pusă : „Ce

reprezentarea forţelor (dimensionarea segmentelor)

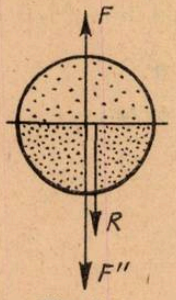


Fig. 1.

Prof. : De ce forţa rezultantă într-o emisferă se reprezintă aşa :

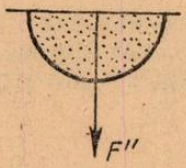


Fig. 2.

şi nu aşa :

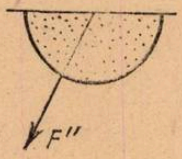


Fig. 3.

Profesorul solicită evaluări şi comparaţii privind ordinul de mărime al presiunii interne şi al unor presiuni mari, imaginabile de elevi.

Profesorul (adresîndu-se clasei) : Ştiut fiind că presiunea internă are valori foarte mari (11 000 atm pentru apă) puteţi dovedi că ea nu se transmite corpurilor scufundate ?

Prof. : Cunoaşteţi altă presiune care se transmite corpurilor scufundate ?

nu este corect în desenul de pe tablă ? suscită interes, cu atît mai mult cu cît totul pare „în regulă".

Şi aici se iveşte prilejul unei discuţii. În ora anterioară s-a spus : din considerente de simetrie. Acum se cere justificarea acestor considerente. Pare curios dar este o întrebare grea. În general este bine ca în explicarea lecţiilor să rămînă asemenea mici enigme pe care elevii trebuie să le dezlege acasă. Mintea lor exersează astfel reprezentarea logică şi motivarea fenomenelor. Explicitarea totală sau intuitivismul excesiv nu aduc cele mai bune servicii.

Elevii trebuie să evalueze estimativ de exemplu presiunea sub roţile unui camion, fără să li se dea vreo dată concretă. Este o modalitate importantă de legare cu practica, de genul experienţelor imaginare folosite în raţionamentul teoretic.

Un mic sondaj de perspicacitate, din păcate nu mulţi elevi vor răspunde că dovada respectivă o căpătăm la fiecare scăldat !

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

Comunicarea cunoştinţelor

Se foloseşte metoda expozitiv demonstrativă.

Au fost expuse următoarele idei (însoţite, la momentul oportun, de experienţe demonstrative).

— Moleculele din stratul superficial posedă energie potenţială.

— Corpurile manifestă tendinţa de a-şi micşora energia potenţială.

— Singura modalitate de micşorare a energiei potenţiale a stratului superficial este micşorarea la maximum a suprafeţei lichidului

—Forţele de tensiune superficială

Întrebarea prilejuieşte analogia dintre presiunea internă şi presiunea hidrodinamică. Este şi o bună ocazie de repetare a unor cunoştinţe şi noţiuni (presiune, unităţi).

Străvechiul principiu al repetiţiei rămîne mereu în picioare.

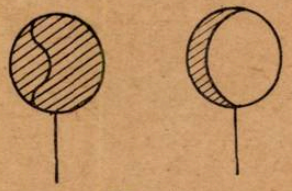


Fig. 4.

O modalitate interesantă de abordare este prezentarea unei experienţe de tensiune superficială de ex. : fig. 4. şi angajarea unor discuţii pentru explicarea fenomenului ob-observat. Este prin excelenţă un studiu „prin descoperire", utilizabil mai ales la o clasă cu mulţi elevi buni.

Găsesc foarte important ca aici să se insiste asupra forţelor de acţiune şi reacţiune.

Fig. 5.

F = forţa de tensiune superficială care acţionează în planul peliculei de lichid asupra „legăturii"; F' → forţe egale şi de sens

contrar cu care „legătura" acţionează asupra peliculei de lichid. Numai astfel se va putea explica corect desprinderea picăturilor din-

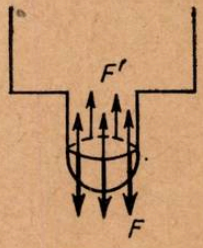


Fig. 6.

tr-un stalagmometru, punînd condiţia $F' = G$, precum şi acţiunea forţelor Laplace.

— Lucrul mecanic al forţelor de tensiune superficială

Calculul se face în mare parte cu concursul elevilor. Aici sînt necesare unele precizări menite să cultive rigurozitatea conţinutului ştiinţific.

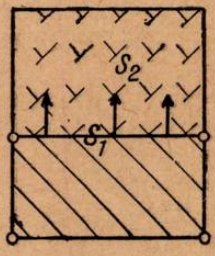


Fig. 7.

$$\Delta L = \sigma (S_1 - S_2) = \sigma[-(S_2 - S_1)] = -\sigma \Delta S$$

În ora viitoare profesorul va discuta cu elevii despre semnul mărimilor ΔL şi ΔS.

— Variaţia de energie a peliculei superficiale :

$$U_1 = \Delta L + U_2$$
$$\Delta U = -\Delta L$$
$$\Delta U = \sigma \Delta S$$

Este un moment care nu trebuie trecut cu vederea. Facem încă un pas spre algoritmizarea modului energetic de explicare şi tratare a fenomenelor.

Ca temă pentru acasă se propun probleme cantitative şi probleme întrebări.

O discuţie interesantă se va purta în ora viitoare cu privire la forma unei picături de lichid în cădere uniform variată. Se va compara cu cazul cînd o picătură de Hg se află pe masă etc.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL IX

6

IUNIE 1972
RFCABV 9(6) 201—240 (1972)

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7, BUCUREȘTI – 46 TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag

Asist. *Mihai Titu Dumitriu*, Craiova

1. Compuși semiconductori ternari cu structura diamantului. 201

Ing. *Livia Danciu*, Timișoara

2. Detergenții 212

Prof. *Maria Floriana Ivanov*, București

3. Cîteva chestiuni teoretice privind geometria moleculelor. 218

Lucrări de laborator

Prof. dr. *I. Gavrilă*, Brașov

4. Dispozitiv pentru demonstrații electrostatice 224

Prof. *I. Curievici*, asist. *V. Nagacevschi*, Iași

5. Construirea și experimentarea unui examinator automat 229

Prof. *Ștefan Erdei*, Săcueni – Bihor

6. O mașină simplă de verificare programată 234

Prof. *Leontin Domide*, Baia Mare

7. Mașină de instruire programată, realizată în cadrul cercului tehnico-productiv al elevilor de liceu 238

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, conf. univ.; **Teodor Bohățiel**, lector univ.; **Simion Bulgărea**, prof. **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicolae Martalogu**, conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof. **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

Seria A

Anul IX Nr. 6 iunie 1972

COMPUŞI SEMICONDUCTORI TERNARI CU STRUCTURA DIAMANTULUI

MIHAI TITU DUMITRIU
Catedra de Fizică, Universitatea Craiova

I. Introducere

1. Legăturile covalente tetraedrale caracteristice grupului cristalochimic al diamantului creează cele mai bune condiţii pentru transferul electronilor, fenomenul fundamental al funcţionării dispozitivelor semiconductoare. Datorită acestui fapt, semiconductorii cu structura diamantului şi-au găsit o largă aplicabilitate în radioelectronică şi ca surse de energie (electrică şi radiantă).

Înglobarea într-o singură familie a unei mari varietăţi de substanţe, de la elemente (din grupa a IV-a a sistemului lui Mendeleev) şi pînă la compuşi binari, ternari, cuaternari ş.a.m.d. a fost posibilă datorită faptului că un mare număr de lucrări a verificat presupunerea conform căreia numărul mediu de electroni de valenţă per atom într-un compus ar fi determinant în stabilirea proprietăţilor lui fizico-chimice generale (analogii izoelectronici au proprietăţi asemănătoare).

Descoperind periodicitatea proprietăţilor elementelor şi alcătuind sistematica ce îi poartă numele, Mendeleev a putut prezice cu succes proprietăţile unor elemente încă nedescoperite, pe baza acelora ale elementelor vecine din perioadă. Implicaţiile pot fi extinse ţinînd seamă de marea asemănare care se manifestă între proprietăţile unui element şi acelea ale compusului realizat prin combinarea vecinilor săi din grupa din dreapta şi din cea din stînga a sistemului periodic al elementelor. Cel mai pregnant, această regularitate se manifestă în cazul elementelor din grupa a IV.

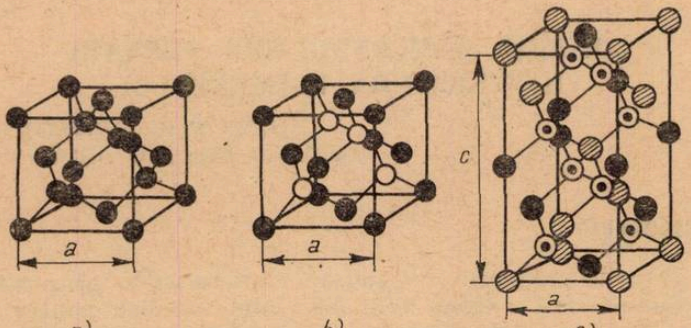
Existenţa compuşilor formaţi din elemente echidistante acestei grupe a fost arătată pentru prima dată de Goldschmidt.

Compuşii menţionaţi au structură tip wurtzit sau sfalerit (tip blendă de zinc), similară aceleia a diamantului (fig. 1.) Toate cele trei structuri sînt caracterizate de un număr de coordinare 4. Prin analogie cu diamantul, densitatea electronică este presupusă a fi maximă în direcţiile tetraedrale. Astfel, pornind de la analogia structurală cu Si şi Ge, în 1952 Welker a prezis proprietăţi semiconductoare compuşilor III-V. Goldschmidt a preparat astfel de compuşi, le-a măsurat constantele reţelei şi le-a găsit a fi foarte apropiate de acelea ale elementelor corespunzătoare din grupa a IV-a. Astfel de serii ca : Ge, GaAs, ZnSe, CuBr ; Si, AlP, MgS, NaCl sau Sn, InSb, CdTe, AgI sînt constituite din substanţe ce sînt izoelectronice *. Apropierea surprinzătoare a constantelor reţelei (Anexa I)

* În accepţiunea uzual folosită de chimişti a termenului, compuşii izoelectronici sînt compuşi cu acelaşi număr mediu total de electroni per atom.

s-a considerat a fi datorată caracterului ne-ionic (covalent deci) al componentelor în acești compuși și aceasta deoarece în compușii ionici, distanțele interatomice depind de valența atomilor, fapt care nu se manifestă în compușii izoelectronici.

Un mare număr de elemente se cunosc a participa la formarea compușilor tetraedrali . Toți compușii tetraedrali formați cu aceste elemente



a) b) c)

Fig. 1

sînt semiconductori și rareori prezintă o bandă interzisă mai largă decît 3 eV. Ei pot fi împărțiți în două grupuri principale : un grup în care este manifestă dispunerea locurilor în rețeaua cristalină în strictă conformitate cu aceea a rețelei diamantului (structură de tipul adamantinului) și de tip wurtzit, cu dispunere hexagonală a locurilor în rețea. Cînd apar mai mult decît doi atomi diferiți în rețea, frecvent se produc fie ordonări superioare, fie se formează superrețele (rețele constituite din două sau mai multe subrețele). Adesea, în aceste cazuri apar tensiuni în rețea, tensiuni care produc distorsiuni ale rețelei, dar acestea nu afectează simetria tetragonală a legăturilor în jurul atomilor individuali.

II. Formarea compușilor tetraedrali

Formula generală pentru un compus tetraedral se poate scrie în forma :

$$A_{1-x-y-z} \ldots . B_x C_y D_z \ldots . \qquad (1)$$

unde literele A, B, C, D,... desemnează elementele componente, iar x, y, z, ...sînt cantitățile fracționare de B, C, D... care sînt prezente cu A. Relația (1) dă compoziția medie a unui loc atomic în solid. Evident, numerele x, y, z, ...verifică inegalitățile simultane :

$$0 < x < 1, \quad 0 < y < 1, \quad 0 < z < 1 \qquad (2)$$

$$0 < x + y + z + \ldots < 1$$

Formarea compușilor tetraedrali se poate deduce pe baza regulii Grimm-Sommerfeld. Pe baza principiului de octet al lui Lewis și Kossel, care prevede că în orice combinație chimică este necesară formarea configurației stabile de octet, elementele cu patru electroni de valență vor participa la legătură punînd electronii lor împreună cu patru vecini, cei mai apropiați. Regula Grimm-Sommerfeld prevede că se poate obține același

tip de legătură a celor patru vecini și se pot completa straturile fiecărui atom prin formarea unui compus cu o cantitate egală a două elemente avînd altă valență decît patru, de exemplu două elemente egal depărtate de grupa a IV în sistemul periodic. Regula poate fi exprimată mai general astfel: numărul mediu de electroni de valență per atom trebuie să fie egal cu patru. Această condiție se exprimă matematic astfel:

$$a(1 - x - y - z - \ldots) + bx + cy + dz + \ldots = 4 \qquad (3)$$

a, b, c, d, ...fiind, respectiv, grupele din care provin atomii A,B,C,... sau în varianta formulată de B.P.Pamplin:

$$\frac{\sum n_i v_i}{\sum n_i} = 4 \qquad (4)$$

unde: n_i este numărul de atomi de tip i, iar v_i este numărul de electroni de valență.
În acest mod regula este extinsă și la compuși ternari, cuaternari, etc.

II. 1. *Compuși tetraedrali binari.*

În acest caz, relația (1) are forma:

$$A_{1-x} B_x \quad \text{cu} \quad 0 < x < 1 \qquad (5)$$

iar relația (3) se scrie:

$$a(1 - x) + bx = 4 \qquad (6)$$

Aceasta limitează numărul compușilor care se pot forma din cele șapte grupe ale sistemului periodic, număr care este egal cu:

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!} = \frac{7!}{2!(7-2)!} = 21$$

Evident regula se poate îndeplini numai dacă un element al compusului are numărul electronilor de valență mai mic decît patru, iar celălalt mai mare decît patru. Dacă, în continuare, elementul din grupa cu număr mai mic îl privim ca fiind cation, iar cel din grupa cu număr mai mare, ca anion, atunci faza binară se formează numai la realizarea octetului fiecărui atom. Aceasta înseamnă că numărul electronilor dați de cation pentru formarea legăturii iono-covalente trebuie să fie egal cu numărul electronilor necesari formării octetului la cation. Ca urmare, trebuie verificată relația:

$$a(1 - x) = (8 - b)\, x \qquad (7)$$

Cu (6) și (7) numărul combinațiilor binare tetraedrale posibile se restrînge la numai 9 (Tabelul 1).

În tabelul 1, am introdus o a zecea rubrică ce este constituită din compuși corespunzători cazului $a = b$, compuși care au fost preparați și studiați, prezentînd proprietăți interesante.

Compușii binari, analogi izoelectronici ai semiconductorilor din grupa a patra a sistemului periodic cînt compuși de tipul $A^{I} - B^{VII}$, $A^{II} - B^{VI}$ și $A^{III} - B^{V}$ (sau, cu o notație mai simplă, I—VII, II—VI, III—V).

Semiconductorii elementari Ge și Si și analogii lor izoelectronici au proprietăți foarte apropiate (Anexa 1). De asemenea, mulți dintre semiconductorii binari au proprietăți mult mai favorabile diverselor întrebuințări practice, fapt care a permis dezvoltarea într-un ritm impresionant a microelectronicii precum și a laserilor cu injecție.

II. 2. *Compuși tetraedrali ternari.*

Formula generală a acestor compuși se obține din (1) în forma:

$$A_{1-x-y}B_xC_y \qquad (8)$$

Numărul combinațiilor posibile cu trei elemente, din cele 7 grupe diferite ale sistemului periodic al lui Mendeleev, este:

$$C_n^k = \frac{7}{7!(7-3)!} = 35$$

Pe lîngă aceasta, să observăm că putem obține compușii ternari din cei binari prin dedublarea fie a cationului fie a anionului. De exemplu, dacă se consideră compușii binari de forma AR, unde A este un element dintr-una din primele patru grupe din tabelul 1, iar R unul din ultimele patru, atunci subrețeaua A conține atomi metalici (cationii), iar subrețeaua R anionii. După modul cum se introduce al treilea atom, compușii ternari sînt de două feluri: unii în care al treilea element face parte dintre atomii A și alții în care elementul al treilea face parte dintre atomii R. Două situații posibile sînt schițate mai jos (fig. 2):

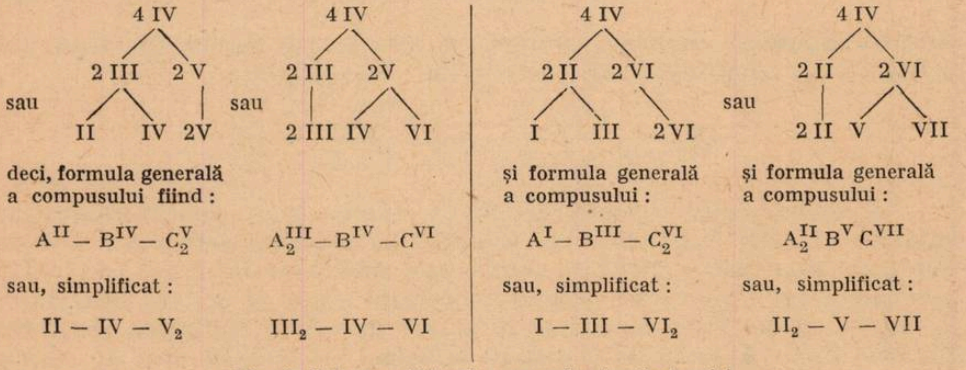


Fig. 2. Schema obținerii compușilor izoelectronici.
(II – IV – V_2 și I – III – VI_2 de la III – V și II – VI)

Prin urmare, compușii ternari pot fi scriși în două moduri:

$$A_{1-x}B_xR \qquad \text{sau} \qquad AR_{1-x}S_x \qquad (9)$$

astfel că cele 35 de faze posibile reprezintă de fapt 70. Cu notațiile din secțiunea anterioară, avem relațiile restrictive evidente:

$$1 \leqslant a \leqslant 4; \quad 1 \leqslant b \leqslant 4; \quad 4 \leqslant r \leqslant 7; \quad 4 \leqslant s \leqslant 7;$$

și o singură variabilă, x. Semnul egal din fața lui 4 este numai formal, întrucît nu au fost încă identificați compuși ternari cu trei elemente din grupa a patra, ci numai compuși binari (tabelul 1)

Să considerăm pe rînd cele două cazuri :

1. *Compuși ternari bicationici.* În acest caz, principiul valenței maxime (analogie cu (7)) se scrie :

$$a(1 - x - y) + bx = (8 - r)y \tag{10}$$

iar condiția numărului mediu de electroni per atom egal cu patru (din (3)) :

$$a(1 - x - y) + bx + ry = 4 \tag{11}$$

Rezolvînd sistemul format din ecuațiile (10) și (11) găsim :

$$y = \frac{1}{2} \quad \text{și} \quad x = \frac{8 - a - r}{2(b - a)} \tag{12}$$

Se verifică deci afirmația că rămîne o singură variabilă x.

Formula generală a fazelor ternare bicationice capătă forma :

$$A_{1/2-x}\, B_x\, R_{1/2} \tag{13}$$

cu condiția :

$$0 < x = \frac{8 - a - r}{2(b - a)} < \frac{1}{2} \tag{14}$$

De aici se vede ușor că din cele 35 de faze posibile, numai 5 îndeplinesc condiția (14) și deci numai acestea sînt posibile (Tabelul 2)

2. Compuși ternari bianionici. Pentru compușii bianionici, condițiile (10) și (11) au forma :

$$a(1 - x - y) = (8 - r)x + (8 - s)y \tag{15}$$

și respectiv :

$$a(1 - x - y) + rx + sy = 4 \tag{16}$$

Rezolvînd sistemul obținem :

$$x + y = \frac{1}{2} \quad \text{și} \quad y = \frac{8 - a - r}{2(s - r)} \tag{17}$$

iar formula fazei ternare se scrie :

$$A_{1/2}\, R_{1/2-y}\, S_y \tag{18}$$

unde :

$$0 < y = \frac{8 - a - r}{2(a - r)} < \frac{1}{2} \tag{19}$$

și deci, de asemenea o singură variabilă, y.

Și în cazul compușilor bicationici, numărul fazelor posibile se reduce de la 35 la 5 (tabelul 3).

Aceste faze sînt perfect simetrice cu fazele bicationice în raport cu grupa a patra a sistemului periodic.

Tabelul 1

Sistemul	I–V	I–VI	I–VII	II–V	II–VI	II–VII	III–V	III–VI	III–VII	IV–IV
Formula compusului posibil	$A^{I}-B_3^{V}$	$A_2^{I}-B_3^{VI}$	$A^{I}-B^{VII}$	$A^{II}-B_2^{V}$	$A^{II}-B^{VI}$	$A_3^{II}-B_2^{VII}$	$A^{III}-B^{V}$	$A_2^{III}-B^{VI}$	$A_3^{III}-B^{VII}$	$A^{IV}-B^{IV}$

Tabelul 2

Sistemul	I–III–VI	I–IV–V	I–IV–VI	I–V–VI	II–IV–V
Formula compusului posibil	$A^{I}-B^{III}-R_2^{VI}$	$A^{I}-B_2^{IV}-R_3^{V}$	$A_2^{I}-B^{IV}-R_3^{VI}$	$A_3^{I}-B^{V}-R_4^{VI}$	$A^{II}-B^{IV}-R_2^{V}$

Tabelul 3

Sistemul	II–V–VII	III–IV–VII	II–IV–VII	II–III–VII	III–IV–VI
Formula compusului posibil	$A_2^{II}-R^{V}-S^{VII}$	$A_3^{III}-R_2^{IV}-S^{VII}$	$A_3^{II}-R^{IV}-S_2^{VII}$	$A_4^{II}-R^{III}-S_3^{VII}$	$A_2^{III}-R^{IV}-S^{VI}$

Formarea fazelor ternare poate fi discutată şi considerînd triunghiurile concentraţiilor. Ca exemplu, să considerăm elementele perioadei a patra a sistemului periodic (fig. 3).

În acord cu principiile analizei fizico-chimice, fiecare punct în interiorul triunghiului reprezintă o combinaţie de trei elemente, luate în proporţii determinate. Punerea unei condiţii oarecare dă secţiunea profilurilor pseudobinare, iar intersecţia a două dă punctul care corespunde

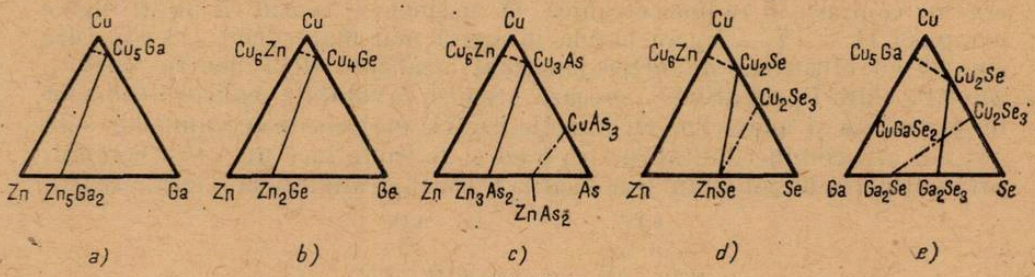


Fig. 3

— — — — Linia de valenţă maximă
— · — · — · Linia de patru electroni

simultan ambelor condiţii. În legătură cu aceasta, oricare ar fi grupul de elemente studiat, sînt posibile a fi puse următoarele condiţii secţiunilor :

1. secţiunea care corespunde condiţiei de patru electroni, lipseşte (fig. 3a) ;

2. secţiunea prezintă un punct la o extremitate a triunghiului (fig. 3b). Analogul grupei a patra este însuşi elementul din grupa a IV.

3. secţiunea există, dar nu se intersectează în limitele triunghiului cu linia de cea mai mare valenţă (maximă), (fig. 3c). Nici în acest caz nu există analogul grupei a IV.

4. secţiunea se intersectează cu una din liniile de valenţă maximală pe latura triunghiului (fig. 3d). Analogul grupei a patra este un compus binar.

5. secţiunea intersectează una dintre liniile de valenţă maximă în interiorul triunghiului (fig. 3e). Analogul elementelor grupelor a patra şi a opta este un compus ternar. Dacă se construiesc toate cele 35 de triunghiuri ale concentraţiilor, se poate verifica veridicitatea rezultatului obţinut mai sus pe cale analitică : în cinci triunghiuri, profilul care corespunde condiţiei de patru electroni intersectează, dînd compuşi monocationici, iar în cinci--bicationici.

Între compuşii ternari posibili, cele mai avantajoase proprietăţi le au analogii izoelectronici ai compuşilor III—V, compuşii bicationici II—IV—V_2. Ca urmare, ei au fost cel mai mult studiaţi. O statistică a numărului de lucrări publicate este edificatoare în acest sens : de la o singură lucrare publicată în 1957, totalul se ridică la 83 în următorii zece ani (1957 — 1966) pentru ca în următorii cinci ani numărul lucrărilor apărute să fie de peste 250. Este curba specifică domeniilor de mare interes.

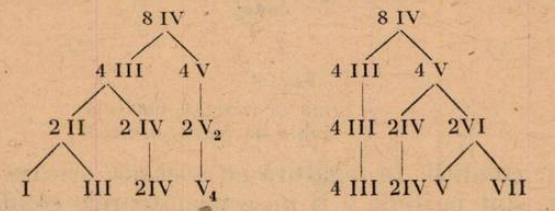
Din cei 125 de compuşi II — IV — V_2 posibili, au fost preparaţi şi parţial studiaţi 16. Elementele participante sînt date în tabelul 4, iar principalele proprietăţi sînt indicate comparativ cu cele ale analogilor izoelectronici IV şi III — V în anexa II.

Extragem dintre proprietăţi : mobilităţi suficient de mari ale purtătorilor de sarcină, astfel încît să se poată prevedea o largă utilizare a

Tabelul 4

Grupa	II	IV	V
Elementul	Be	Si	N
	Mg	Ge	P
	Zn		As
	Cd	Sn	Sb

acestor compuşi în radioelectronică. De asemenea, faptul că mulţi dintre compuşii II — IV — V_2 au banda interzisă mai mare decît 1,8 eV, care corelat cu obţinerea de heterojoncţiuni (realizată deja pentru $ZnSiP_2$, $ZnGeP_2$, $CdSnP_2$ şi $CdSnAs_2$) creează premize favorabile realizării diodelor luminescente şi a laserilor cu injecţie. Deşi la majoritatea compuşilor s-au obţinut atît conductibilităţi de tip-p cît şi de tip-n, încă nu a fost comunicată obţinerea de joncţiuni p-n decît la $CdSnP_2$. Fără îndoială însă, această



şi formula generală a compusului :

$A^{I} - B^{III} - C_2^{IV} - D_4^{V}$

sau simplificat :

$I - III - IV_2 - V_4$

şi formula generală a compusului :

$A_4^{III} - B_2^{IV} - C^{V} - D^{VII}$

sau simplificat :

$III_4 - IV_2 - V - VII$

Fig. 4. Schema obţinerii compuşilor cuaternari (exemplu).

situaţie nu poate diminua interesul crescînd arătat acestui tip de compuşi semiconductori, interes determinat de marea varietate de proprietăţi avantajoase, prezentate spre edificare (parţial, evident) în tabelul din anexa II.

Raţionamente întru totul similare, permit extinderea regulii Grimm-Sommerfeld şi pentru prezicerea, pe baza existenţei compuşilor ternari, a unor compuşi constituiţi din patru (cuaternari) şi chiar din mai multe elemente. Două scheme exemplificatoare sînt date în fig. 4. Avînd în vedere, însă, pe de o parte faptul că scopul articolului este acela de a pune în discuţie compuşii tetraedrali ternari (şi în special a analogilor izoelectronici ai binarilor III — V), iar pe de altă parte, faptul că încă nu au fost preparaţi compuşi cuaternari, ş.a.m.d. (deci aceşti compuşi au, pe moment, numai o importanţă principială) nu se va intra în detalii asupra unor aspecte concrete de calcul. De altfel, astfel de calcule se găsesc complet expuse în lucrări de mai mare întindere.

În încheiere trebuie menţionat că, dacă volumul de material consacrat compuşilor ternari nu depăşeşte (în ciuda titlului) pe acela consacrat compuşilor binari, actualmente larg studiaţi, acesta se datoreşte faptului că s-a urmărit doar a se atrage atenţia asupra acestei clase de compuşi, clasă care, prin proprietăţile pînă în prezent observate, se anunţă a fi cu mult mai interesanţi decît aceia care, acum sînt în centrul atenţiei specialiştilor.

Anexa 1

Constantele rețelei pentru o serie de compuși cu structura diamantului.

1. Elemente din grupa IV:

Elementul	Si	Ge	α — Sn
Constanta rețelei (Å)	5,4198	5,647	6,4912

2. Compuși tetraedrali binari III — V (structura tip blendă de zinc):

Compusul	AlP	Al As	Al Sb	Ga P	Ga As	Ga Sb	In P	In As	In Sb
Constanta rețelei (Å)	5,45	5,6622	6,1355	4,4505	5,6534	6,0954	5,8687	6,0584	6,47877

3. Compuși tetraedrali binari II — VI, cu structura blendei de zinc:

Compusul	Zn S	Zn Se	Zn Te	Cd S	Cd Se	Cd Te	Hg S	Hg Se	Hg Te
Constanta rețelei (Å)	5,4093	5,6687	6,1037	5,820	6,05	6,481	5,851	6,084	6,460

4. Compuși ternari II — IV — V_2:

Compusul		$BeSiN_2$	$ZnSiP_2$	$CdSiP_2$	$ZnSiAs_2$	$CdSiAs_2$	$ZnGeP_2$	$ZnGeAs_2$	$CdGeP_2$	$ZnSnP_2$	$ZnSnAs_2$	$CdGeAs_2$	$CdSnP_2$	$CdSnAs_2$
Structura		wurtzit	calcopirit	calcopirit	calcopirit	calcopirit	calcopirit	calcopirit	calcopirit	sfalerit	calcopirit	calcopirit	calcopirit	calcopirit
Constantele rețelei (Å)	a	2,87	5,399	5,678	5,606	5,884	5,465	5,672	5,741	5,651	5,852	5,943	5,900	6,094
	c	4,67	10,435	10,431	10,890	10,882	10,771	10,153	10,775		11,703	11,217	11,518	11,918

Proprietățile compu

Proprietatea / Compusul	Si	Ge	$ZnSiP_2$	GaP—AlP	$ZnGeP_2$	2GaP
A	1	2	3	4	5	6
T_{topire} (°C)	1 420	936	1 370	1 467—1 800	1 025	1 467
E_G (eV)	1,21	0,78	2,34	2,2—2,42	2,20	2,2
Microduritate ($kg.mm^{-2}$)	1 150±110	780±79	1 100±100	940—?	980±80	940
ρ ($g.cm^3$)	2,329	5,323	3,390	4,14—2,77	4,175	4,14
V (Å^3)	318,48	360,7	292,687	176,2—323,7	320,343	176,22
μ_e (300°K) ($cm^2 \cdot V^{-1} \cdot S^{-1}$	1 550	4 400	70÷210	100—?	10^3—10^4	100
σ ($\Omega^{-1} \cdot cm^{-1}$)	10	$10^{-7} \div 10^{-1}$	10^{-2}	10^{-1}—?	10^{-3}	10^{-1}
m_e^*/m_0	0,03	0,01	0,096	0,36—?	?	0,36

Proprietatea / Compusul	2InP	$ZnSiAs_2$	GaAs—AlAs	$ZnGeAs_2$	2 GaAs	$CdSiAs_2$
A	14	15	16	17	18	19
T_{topire} (°C)	1 062	1 038	1 237—1 700	875	1 237	850
Eg (eV)	1,3	1,64	1,53—2,16	0,85	1,53	1,55
Microduritate ($kg.mm^{-2}$	435	920	700—500 ±50 ±20	680	700±50	685
ρ ($g.cm^{-3}$	4,74	4,72	5,4—3,79	5,32	5,4	?
V (Å^3)	404,60	342,365	360,7—362,7	358,557	360,70	376,641
μ_e (300°K) ($cm^2 \cdot V^{-1} \cdot S^{-1}$	3 400	140	6 000—?	70	6 000	400
σ ($\Omega^{-1} \cdot cm^{-1}$)	1÷10	3×10^{-4}	10÷100—?	10^{-2}	10÷100	?
m_e^*/m_0	0,077	0,071	0,07—?	0,038	0,07	?

şilor izoelectronici

$CdSiP_2$	$InP+AlP$	$ZnSnP_2$	$GaP-InP$	$CdGeP_2$	$InP-GaP$	$CdSnP_2$
7	8	9	10	11	12	13
1 200	1 062—1 800	968	1 467—1 062	800	1 062—1 467	—
2,25	1,3—2,42	2,1	2,2—1,3	1,8	1,3—2,2	1,5
1 050	435—?	680±20	940—435	850±70	435—940	400±30
3,998	4,74—2,77	4,33	414—4,74	4,66	4,74—4,14	?
336,291	404,6—323,7	360,724	176,2—404,6	355,134	404,6—176,2	400,941
125	3 400?	59	100—3 400	80÷130	3 400—100	1 500
5×10^{-3}	1÷10—?	?	10^{-1}—1÷10	10^{-2}—10^{-3}	1÷10—10^{-1}	10^{-1}÷10
0,092	0,077—?	?	0,36—0,077	?	0,077—0,36	0,036

InAs—AlAs	$ZnSnAs_2$	GaAs—InAs	$CdGeAs_2$	InAs—GaAs	$CdSnAs_2$	2InAs 2InSb
20	21	22	23	24	25	26
942—1 700	775	1 237—942	665	942—1 237	596	942 536
0,45—2,16	0,66	1,53—0,45	0,6	0,45—1,53	0,26	0,45 0,25
330—500 ±10 ±20	455	700—330 ±50 ±10	470	330—700 ±10 ±50	395	330±10 220±10
5,68—3,79	5,53	5,4—5,68	5,61	5,68—5,4	5,71	5,68 5,78
445—362,7	400,945	360,7—445	396,143	445—360,7	445,56	445,0 544,19
23.000—?	24	6 000—23.000	1 000	23.000—6.000	$2\div20\times10^3$	23.000 65.000
10^2—?	10^2	10÷100—10^2	1÷10	10^2—10÷10^2	10^4—10^5	10^2 10^{-1}÷10
0,03—?	0,029	0,07—0,03	0,020	0,03—0,07	0,02	0,03

BIBLIOGRAFIA

Avînd în vedere caracterul informativ al materialului, nu s-a considerat justificată menţionarea integrală a bibliografiei folosite. Au fost indicate numai monografii şi articole de sinteză care au un număr considerabil de indicaţii bibliografice.

1. *E. Parthe*: Crystal chemistry of tetrahedral structures, „Gordon—Breach", New York-London, 1965.
2. *N. A. Goryunova*: Khimia Almazopodobnyh poluprovodnikov, „Iz. Leningradskovo Goš. Univ." 1963.
3. N. *A. Goryunova*: Slojnyie almazopodobnyie poluprovodniki, „Sovetskoe Radio", 1968.
4. *Yu. V. Shmartzev, Yu. A. Valov, A. S. Borshchesvkii*: Tugoplavkie Almazopodobnyie poluprovodniki, „Metalurghiia", 1964.
5. *O. Madelung*: Physics of III-V Compounds „John Wiley and Sons, Inc.", New-York-London-Sydney, 1964.
6. *C. Hilsum, A. C. Rose-Innes*: Semiconducting III—V compounds „Pergamon Press", 1961.
7. *B. Ray* J. Mat. Sci. 2, 3, 284 — 292 (1967)
8. *S. A. Borshchevskii* et al. Phys. Status Solidi 21, 1, 9—55 (1967)
9. *N. A. Goryunova*: Proceedings of the International Conference on the Physics of Semiconductors Moscow, (1968) pp. 1227 — 1233.

DETERGENŢII

Ing. *LIVIA DANCIU*, lector I.C.P.P.D. Timişoara

Se obişnuieşte să se înţeleagă prin detergenţi, produsele de sinteză care pot înlocui cu succes săpunurile în operaţiunea de spălare, avînd calităţile acestora, nu şi defectele lor.

Termenul de detergent, provine de la latinescul „detergo" care înseamnă : a spăla.

Nu este lipsit de interes a arăta că în anul 1968 producţia mondială de detergenţi egala producţia de săpun ; dar în timp ce producţia de detergenţi este în continuă creştere, cea de săpun are tendinţă de scădere, fapt determinat pe de o parte de bunele calităţi ale noilor produse, iar pe de altă parte de nevoia de economisire a grăsimilor naturale în scopul alimentaţiei.

În Republica Socialistă România, se produc detergenţi în două unităţi industriale : „Fabrica de detergenţi — Timişoara" şi „Fabrica Dero-Ploieşti".

Detergenţii fac parte din categoria „agenţi de suprafaţă" care cuprinde totalitatea compuşilor chimici cu proprietatea caracteristică de a se acumula la suprafeţele de separaţie dintre faze şi chiar în concentraţii foarte mici modifică puternic proprietăţile superficiale ale lichidelor în care se dizolvă; de exemplu tensiunea superficială a apei pure este de 75 dyn/cm^2 pe cînd la o soluţie diluată de săpun (care este tot un agent de suprafaţă) ajunge la numai 25 dyn/cm^2.

În raport cu diferitele lor utilizări agenţii de suprafaţă se pot grupa în diferite clase, ca de exemplu :

1) detergenţi sau agenţi de spălare; 2) agenţi de udare sau înmuiere ; 3) agenţi de emulsionare; 4) agenţi de spumare etc.

Proprietăţile (de spălare, udare, emulsionare, spumare etc.) se datoresc structurii moleculei.

Aceste substanţe au structură moleculară asimetrică — molecule amfipatice — care explică dubla afinitate pentru apă şi substanţe grase. Se obişnuieşte să se reprezinte schematic această asimetrie moleculară sub forma din fig. 1, unde s-a notat cu P, partea polară a moleculei, cu caracter hidrofil, respectiv lipofob, iar cu R, partea nepolară, de natură hidrocarbonată, inslubilă în apă, dar uşor solubilă în uleiuri, deci cu caracter hidrofob, respectiv lipofil.

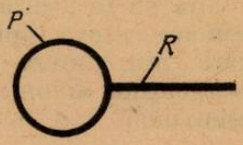


Fig. 1

Acumularea agenţilor de suprafaţă la interfeţe şi deci modificarea puternică a proprietăţilor superficiale ale lichidelor în care sînt dizolvaţi se datoreşte tocmai acestei structuri asimetrice a moleculelor cu afinităţi diferite faţă de diferitele faze. Stratul de adsorbţie care se formează serveşte ca legătură între fazele insolubile (ex. apă-ulei). Starea mai mult sau mai puţin condensată a acestui strat determină acţiunea predominantă a produsului respectiv, de spălare, emulsionare, udare sau spumare. Ca şi moleculele de săpun, care au de asemenea caracter amfipatic, moleculele detergentului se adsorb pe suprafaţa murdăriei, cu partea lipofilă spre particula de grăsime, iar cu partea hidrofilă spre apă. Înconjurate de moleculele detergentului ele se desprind de pe suport, se dispersează în soluţie cu ajutorul spumelor formate tot din molecule de detergent care înconjoară bule de aer, se ridică la suprafaţa flotei de spălare.

Acţiunea predominantă a substanţei este condiţionată de mai mulţi factori :

— balanţa dintre proprietăţile hidrofile şi hidrofobe.
— poziţia grupei hidrofile în moleculă.
— natura grupei lipofile, respectiv hidrofile.
— temperatura şi concentraţia de lucru.

Se cunoaşte că săpunurile obişnuite prezintă pe lîngă bunele proprietăţi de spălare, înmuiere, spumare, emulsionare şi o serie de dezavantaje printre care amintim : 1) Hidrolizează, creînd un mediu alcalin ce dăunează la cald fibrelor de lînă, mătase, fibrelor artificiale şi sintetice.

2) Precipitarea unor săpunuri insolubile în prezenţa ionilor de Ca^{2+} din apele dure, care se depun pe fibre în timpul spălării, pătîndu-le.

3) Salefiază în apele cu conţinut bogat în săruri.

4) În băi acide nu se pot folosi fiindcă se eliberează acizi graşi care se adună la suprafaţă.

5) Fabricarea lor necesită materii prime scumpe şi deficitare (grăsimile naturale).

Faţă de acestea, detergenţii prezintă mai multe avantaje şi anume :
— În urma hidrolizei nu dau un pH prea ridicat.
— Spală şi în apă dură, neformînd precipitate insolubile.
— Nu separă acizi liberi.
— Fabricarea lor pleacă de la materii prime ieftine, în special de natură petrochimică.

Clasificarea detergenților (ca și a agenților de suprafață) se face din punct de vedere al grupei polare pe care o conține, după cum urmează :

I. *Detergenți ionici*, care pot fi, după natura ionului amfipatic format în urma disociației hidrolitice :

a) anionici

b) cationici

c) amfolitici

II. *Detergenți neionici*, care nu formează ioni în soluție apoasă.

Vom prezenta în continuare cîteva tipuri mai reprezentative ale produselor de spălare fabricate prin sinteză :

I.a.) Din categoria detergenților anionici se întîlnesc :

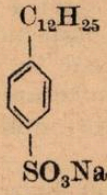
1) Sărurile acizilor carboxilici.

$$R-COONa \rightleftarrows R-COO^- + Na^+$$

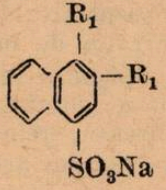
R : rest de acizi grași sintetici ; rest de acizi naftenici ; rest de acizi rezinici

Din cauza defectelor semnalate mai sus la săpunuri, au fost treptat înlocuiți cu produși din grupele următoare :

2) Sărurile acizilor alchil — aril — sulfonici. Ca de exemplu : duodecil — benzen — sulfonatul de sodiu — D.B.S., prezent în unele produse românești (Deval-universal, Perlan 15) și apreciat ca foarte bun agent de spălare. Restul alchil poate să conțină și un număr redus de atomi de carbon (R : C_8-C_{12}).



Dacă restul aril provine de la naftalină, avem produse de tipul :



R_1 fiind radicali cu 3 pînă la 5 atomi de carbon.

Primii detergenți sintetizați încă din 1915 în Germania, cunoscuți sub denumirea de „Nekali" au fost de acest fel (exemplu : di —izopropil și di-izobutil—naftalin—sulfonatul de sodiu).

3) Alchil-sulfații.

$$R-O-SO_3Na \rightleftarrows R-O-SO_3^- + Na^+$$

Sînt săruri alcaline ale monoesterilor acidului sulfuric cu alcooli superiori (R : C_8-C_{18}) Pot fi sulfați primari sau secundari după natura funcției alcoolice.

Sînt prezenți în produsele românești (Perlan albastru, Perlan alb și Dero).

4) Alchil — sulfonaţii :

$$R-SO_3Na \rightleftharpoons R-SO_3 + Na^+$$

R — fiind un rest alchil cu 12 pînă la 18 atomi de carbon, R : $C_{12}-C_{18}$.

Sînt foarte buni agenţi de înmuiere şi sînt cunoscuţi sub denumirea comercială de mersolaţi.

5) Produse polietoxilate sulfatate.

$$R-(O-CH_2-CH_2-)_n O-SO_3Na \rightleftharpoons$$

$$\rightleftharpoons R-(O-CH_2-CH_2-)_nO-SO_3^- + Na^+$$

unde R : $C_{12} - C_{18}$

n : 4 ÷ 6 reprezintă gradul de polietoxilare.

Sînt prezenţi în noile sortimente româneşti de tip Deval, prezentate în formă lichidă. Aceste produse întrunesc calităţile agenţilor neionici cu ale agenţilor de suprafaţă ionici. Producţia lor a luat o mare dezvoltare în ultimul timp.

I b) Din categoria detergenţilor cationici prezintă importanţă :

1) Sărurile unor amine superioare.

De exemplu :

$$R-NH_2.HCl \rightleftharpoons R-NH_3^- + Cl^-$$

$$\begin{matrix} R \\ R' \end{matrix}\!\!>\!NH-HCl \rightleftharpoons \begin{matrix} R \\ R' \end{matrix}\!\!>\!NH_2^+ + Cl^-$$

$$\begin{matrix} R \\ R' \\ R'' \end{matrix}\!\!>\!N-HCl \rightleftharpoons \begin{matrix} R \\ R' \\ R'' \end{matrix}\!\!>\!NH^+ + Cl^-$$

Cel puţin unul din radicali conţine un număr mai mare de atomi de carbon : $C_{12} - C_{16}$.

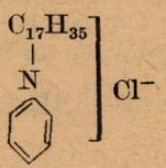
2) Sărurile cuaternare de amoniu

$$R-\overset{+}{N}\begin{matrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{matrix}\!\!>\; Cl^-$$

de exemplu : clorura de lauril — trimetilamina :

$$C_{12}H_{25}-\overset{+}{N}\begin{matrix} CH_3 \\ CH_3 \\ CH_3 \end{matrix}\!\!>\; Cl^-$$

sau clorura de cetil—piridil :



I c) În clasa agenților amfolitici, cuprindem produsele care în soluție apoasă prezintă ioni bipolari. Spre exemplu :

1) Polipeptide

$$H_2N-R_1(CO-NH-R_2-)_nCOOH \rightleftharpoons$$

$$\rightleftharpoons H_3N^+-R_1(CO-NH-R_2-)_nCOO^-$$

2) Produse betainice (derivați cuaternari ai amino-acizilor).

$$(H_3C)_3N^+-\underset{\displaystyle R}{\underset{|}{CH}}-COO^-;$$

important este produsul în care R : $C_{14}H_{29}$

3) Produse sulfobetainice

$$(H_3C)^+N-R-CH_2-SO_3^-$$

II. Din clasa agenților neionici fac parte substanțe fără activitate ionică. Pentru asigurarea afinității față de apă (caracterul hidrofil) sînt prezente mai multe grupe — OH (în polialcooli) sau —O — R — (în polieteri). Avantajul acestor produse este în plus indiferența față de pH-ul soluției.

Se cunosc mai multe tipuri. Spre exemplu :

1) Produse polietoxilate

a) $R-O-(CH_2-CH_2-O-)_nH$

Se obțin prin polietoxilarea alcoolilor sau fenolilor. În detergenți, n adică gradul de polietoxilare, are valori cuprinse între 5 și 10, iar R este un radical alchil : C_{12} — C_{18} sau alchil — aril de același ordin de mărime moleculară.

b) $R-CO-O-(CH_2-CH_2-O-)_n$ H obținuți prin polietoxilarea acizilor grași.

2) Esterii acizilor grași cu polialcooli.

De exemplu cu glicerină :

a) $R-COO-CH_2-CHOH-CH_2OH$ monogliceride

b) $R-CO-(O-CH_2-CHOH-CH_2-)_nOH$ esteri ai poliglicerinelor.

3) Produse de condensare ale acizilor grași cu amino-alcooli.

Ca spre exemplu :

$$R-CO-N\begin{matrix}\diagup CH_2-CH_2OH \\ \diagdown CH_2-CH_2OH\end{matrix}$$

Industria noastră fabrică produse polietoxilate mai ales din alcooli grași sintetici care se supun polietoxilării cu oxid de etilenă (CH_2-CH_2, cu $\diagdown O \diagup$).

Se realizează o adiție a oxidului de etilenă încălzind amestecul în atmosferă de gaz inert sub presiune (p :1 — 4 at), la temperatură de 150 — 170°C și în prezența unui hidroxid alcalin cu rol de catalizator.

$$R-CH_2OH + n\underset{\diagdown O \diagup}{CH_2-CH_2} \rightarrow R-CH_2-O-(CH_2-CH_2-O-)_nH$$

Polieterul obținut se mai sulfatează în continuare cu scopul de a mări solubilitatea produsului. Se realizează o esterificare cu anhidridă sulfurică SO_3, iar apoi se neutralizează cu sodă caustică :

$$R-CH_2-O-(CH_2-CH_2-O-)_nH + SO_3 \rightarrow$$

$$\rightarrow R-CH_2O-(CH_2-CH_2-O-)_nSO_3H$$

Menționăm că pentru detergenții cu care ne întîlnim în comerț, R, adică radicalul hidrocarbonat corespunde la o catenă liniară de $C_{12} - C_{16}$, iar n, adică gradul de polietoxilare este de aproximativ $3 \div 4$. Ei sînt prezenți în noile produse lichide de tip Deval și în șampoanele lichide (ex. larex)

Materiile prime folosite pentru sinteza detergenților sînt de natură petrochimică și se pot asigura din resurse proprii. Printre acestea se află : alcooli primari liniari cu $C_{12}-C_{18}$, olefine liniare, normal-parafine, alchilbenzen liniar etc.

Liniaritatea catenei este în prezent tot mai mult cerută, ca urmare a studiilor întreprinse privind biodegradabilitatea detergenților. Nevoia mărită de protecție a apelor impune grija pentru evitarea aglomerării detergenților în apele de canalizare. Folosind detergenți cu grupă hidrocarbonată liniară se prevede degradarea biologică a lor sub acțiunea microorganismelor aflate în apele naturale. În acest scop s-au pus la punct tehnologii care permit separarea hidrocarburilor liniare de cele ramificate, furnizînd astfel materii prime adecvate industriei detergenților. În acest sens se înscriu metodele de separare cu site moleculare (procedeu american) și cu uree formîndu-se aducți cu uree (procedeu japonez).

Prezentarea comercială a detergenților pentru larg consum se face mai ales sub formă de granule fine sau lichide. În ambele cazuri produsul comercial este un amestec în care substanța activă este în proporție redusă (aproximativ 15...25%) „adausurile de condiționare" care formează diferența, contribuie la optimizarea efectului de spălare. Printre adausurile de condiționare menționăm : sulfatul de sodiu Na_2SO_4, carbonatul de sodiu Na_2CO_3, fosfați, în special condensați ca de pildă tripolifosfatul de sodiu $Na_5-P_3O_{10}$, care chelatizează ionii de $Fe^{3+}Ca^{2+}$ și Mg^{2+}, silicat de sodiu m $Na_2O.nSiO_2$ care are rolul de a mări stabilitatea spumei și reduce tendința de depunere a murdăriei ; de asemenea coloizii protectori ca : alcool polivinilic, carboxi-metilceluloza (tyloza) ; agenți de înălbire optică (derivați stilbenici) sau persăruri (perborați, percarbonați, persulfați) care pun în libertate oxigen atomic ; formol ca inhibitor pentru dezvoltarea enzimelor, uree pentru mărirea solubilității în produsele lichide, etc.

Tendința de micșorare a temperaturii apei de spălare a dus la ideea folosirii ca adaus de condiționare și a unor enzime în proporție de 0,6 — 1%, care degradează murdăria ușurînd astfel spălarea.

BIBLIOGRAFIE

A. Anastasiu, E. Jelescu : Detergenți și alți agenți de suprafață.E.T. 1968

L. Vaicum : Detergenți de tip LAS—Rev. de chimie no. 7/1971

E. Maurer și *L. Daradics* : Unele aspecte la sulfatarea alcoolilor grași — Rev. de chimie nr. 6/1971

Ih. Szekely și *E. Maurer* : Instalații pentru sulfatarea și neutralizarea alcoolilor grași — Rev.de chimie nr. 7/1970

I. Mîndru : Substanțe tensioactive cationice—Rev. de chimie nr. 5/1970.

CÎTEVA CHESTIUNI TEORETICE PRIVIND GEOMETRIA MOLECULELOR

Prof. *MARIA FLORIANA IVANOV*, Liceul Industrial de Chimie București

Vom face mai întîi cîteva considerații menite să precizeze ce se înțelege prin geometria unei molecule. Se știe că orice moleculă este de fapt un ansamblu de nuclee și electroni aflați în mișcare. Atunci cînd acest ansamblu nu este supus unor perturbații exterioare importante, mișcarea particulelor are loc astfel încît ele se păstrează la distanțe suficient de mici unele de altele pentru ca forțele dintre ele (de natură coulombiană) să nu poată fi neglijate. Dacă de exemplu un electron s-ar îndepărta foarte mult de restul ansamblului de particule, el ar deveni practic liber, iar ansamblul rămas nu ar fi altceva decît o moleculă ionizată.

Prin urmare particulele constitutive ale unui ansamblu sînt într-un fel „legate" între ele, astfel încît alcătuiesc o entitate bine definită — — molecula. Principiile mecanicii cuantice ne arată că molecula nu poate avea orice energie. Numai anumite valori reale sînt permise pentru energie și mulțimea acestor valori este numărabilă — energia moleculei are un spectru discret. Atunci cînd molecula se află într-o stare cu o energie determinată, ea se păstrează în această stare oricît de mult, dacă asupra ei nu intervin perturbații exterioare. Se spune că molecula se află într-o *stare staționară*. Dintre toate stările staționare cea mai importantă este aceea care corespunde celei mai joase energii. Aceasta se numește *starea fundamentală* a moleculei. Discuția care urmează va avea în vedere tocmai această stare.

Fie deci o moleculă în starea ei fundamentală. Toate particulele ei constitutive se mișcă în așa fel, încît molecula se păstrează ca entitate bine definită. Trebuie însă să observăm că electronii și nucleele moleculei nu se mișcă la fel. Într-adevăr, nucleele sînt de mii de ori mai grele decît electronii. În consecință ele se mișcă mult mai încet decît aceștia din urmă. Se poate demonstra că nucleele execută, cu o aproximație bună, mișcări oscilatorii armonice de amplitudine mică și cu viteză mică în raport cu aceea a electronilor (viteza electronilor apare atunci cînd avem în vedere teoria cuantică veche, în care se menține noțiunea de traectorie). Aceasta ne conduce la ideea că în comparație cu caracteristicile mișcării electronilor, *putem considera nucleele ca ocupînd niște poziții fixe în spațiu*, care se păstrează atunci cînd rămînem în cadrul unei stări staționare. Prin urmare nucleele moleculei ocupă vîrfurile unui poliedru imaginar, care este un obiect geometric. Se poate vorbi de geometria unei molecule în sensul raționamentului de mai sus. Geometria unei molecule este deci o aproximație compatibilă cu legile mecanicii cuantice.

Este locul aici să precizăm că există o serie întreagă de procedee experimentale de a stabili geometria unei molecule, mai precis geometria moleculelor unei substanțe date(1). Ele sînt :

— Metode de difracție (raze X, electroni, neutroni)

— Metode spectroscopice (spectre de rotație, vibrație-rotație și electronice).

— Metode de rezonanță (rezonanță magnetică nucleară).

Mai există și alte metode experimentale de mai mică importanță care pot fi folosite în scopul determinării structurii moleculelor. În articolul de față nu ne propunem să le discutăm. Așa cum arată titlul, intenția noastră este de a discuta cîteva probleme teoretice legate de geometria moleculelor.

Unul dintre cele mai importante obiective ale chimiei teoretice a fost prevederea dispunerii spațiale a atomilor unei molecule unul în raport cu celălalt. Problema nu este simplă și procedeele folosite pentru soluționarea ei au fost numeroase. În cele ce urmează vom discuta una dintre cele mai simplle tehnici de a stabili configurația geometrică a unei molecule. Ea se bazează pe cîteva presupuneri care pot fi întrucîtva justificate din considerente de mecanică cuantică. Rezultatele pe care le oferă sînt însă surprinzător de bune din punct de vedere calitativ și ne dau posibilitatea să aflăm repede configurația geometrică a unor molecule nu prea complicate. Moleculele pe care le vom avea în vedere sînt de tipul AX_n, unde A este un atom cu valență mai mare decît X, toți X fiind legați deA. Din acest motiv A se numește atom central, iar X liganzi. Vom studia și cazul în care A are liganzi diferiți, precum și situațiile în care liganzii sînt legați prin duble legături de A.

Noțiunea de bază a teoriei pe care o vom expune este aceea de pereche de electroni. Această pereche va interveni tot timpul ca entitate de sine stătătoare. Să vedem cum se poate ajunge la ideea de pereche de electroni în studiul geometriei moleculelor. Atragem atenția că raționamentul care urmează este destul de grosolan, dar că în literatură există și procedee mai riguroase de a ajunge la același rezultat.

Rolul de bază îl joacă atomul A. Mai întîi facem presupunerea obișnuită în chimie că la realizarea combinațiilor chimice, atomul A participă numai cu stratul său valențial de electroni. Ceea ce ne interesează este felul cum se distribuie spațial electronii stratului valențial. Există doi factori care influențează așezarea electronilor unul în raport cu celălalt. Este vorba de forța de respingere coulombiană și de principiul lui Pauli (așa numitul principiul de excluziune). Respingerea coulombiană tinde evident să îndepărteze electronii unul de celălalt. Există însă argumente serioase în favoarea afirmației că principiul lui Pauli este mai important pentru problema pe care o studiem. Ne reamintim că acest principiu afirmă că doi electroni cu același spin nu pot ocupa același orbital. Într-adevăr aceasta ar fi echivalent cu existența în același atom a doi electroni cu toate numerele cuantice identice ceea ce conform unei formulări mai cunoscute a principiului excluziunii, nu este posibil. Deci doi electroni cu același spin sînt obligați să ocupe orbitale diferite. Ori se știe că orbitalele diferite descriu nori electronici care au densitățile maxime în zone diferite ale spațiului (2). Aceasta ne sugerează faptul că electronii cu același spin vor fi în general departe unul de celălalt. În ceea ce privește electronii cu spin opus, principiul lui Pauli nu introduce nici o restricție spațială, ei putîndu-se găsi oricît de aproape, dacă neglijăm respingerea electrostatică între ei. Atragem atenția însă că din alte considerente se poate ajunge la concluzia că electronii cu spin opus au tendința de a se găsi destul de aproape unul de celălalt pentru a forma perechi. Aceste perechi însă se resping între ele. Aici principiul lui Pauli intervine din nou, deoarece un electron dintr-o pereche va avea cu siguranță același spin cu un electron din cealaltă pereche.

Atunci cînd studiem diferite molecule avem de face numai cu perechi de electroni deoarece considerăm întreaga moleculă — nu numai atomul central — deci și electronii proveniți de la liganzi. Să vedem cum putem folosi imaginea perechilor de electroni „izolate" pentru a prevedea configurația geometrică a moleculelor (Este vorba de o previziune calitativă, deoarece cunoașterea exactă a geometriei impune indicarea tuturor lun-

gimilor de legătură şi a tuturor unghiurilor dintre valenţe). În primul rînd atragem atenţia asupra faptului că în stratul valenţial pot exista două tipuri de perechi electronice: *perechi liante* (participante la legătură) şi *perechi neliante*. Caracteristica de bază a raţionamentului care va urma — care este de altfel şi cheia succesului său — este că se iau în considerare *toate* perechile electronice din stratul valenţial. În continuare vom face cîteva presupuneri [Gillespie(3)]. Nu le vom da pe toate deodată, ci le vom introduce progresiv, pe măsură ce se va simţi nevoia.

I. Toate perechile electronice ale stratului valenţial se află la o distanţă medie egală de atomul central.

Această presupunere este valabilă pentru cazul a două, trei, patru şi şase perechi electronice, dar Gillespie consideră că ea se poate aplica şi pînă la 9 perechi.

II. Fiecare pereche electronică se comportă ca o particulă. Aceste particule se resping cu forţe care nu sînt neapărat coulombiene, deoarece ele apar şi datorită principiului lui Pauli. Cu toate acestea configuraţiile prevăzute cu ajutorul acestor forţe coincid în majoritatea cazurilor importante cu cele prezise de o lege coulombiană.

Din presupunerea II, rezultă că perechile se vor aşeza astfel încît să fie cît mai departe una de cealaltă. Fiindcă toate perechile sînt identice între ele, orientările lor reciproce vor corespunde următoarelor poliedre — în care perechile ocupă vîrfurile.

1) Două perechi — configuraţie liniară

2) Trei perechi — triunghi echilateral

3) Patru perechi — tetraedru

4) Cinci perechi — bipiramidă trigonală

5) Şase perechi — octaedru

6) Şapte perechi — bipiramidă pentagonală (pentru cazul forţelor de respingere de tip coulombian)

(Cazurile cu opt şi nouă perechi de electroni nu sînt interesante pentru situaţiile reale). Din aceste configuraţii (fig. 1) pe care le putem considera de bază, putem deduce în foarte multe cazuri aspectul general al aşezării reciproce a atomilor într-o moleculă. Vom considera mai întîi cazul liganzilor identici. Vom examina cîteva exemple.

Exemplul 1. Molecula de $ZnCl_2$. Stratul valenţial al Zn-ului este $4s^2$. În consecinţă în $ZnCl_2$ vom avea două perechi de electroni liante şi nici o pereche neliantă. Conform tabelului de mai sus $ZnCl_2$ este o moleculă liniară:

$$Cl : Zn : Cl$$

(S-a reprezentat schematic poziţia reciprocă a perechilor electronice).

Exemplul 2. Molecula de BF_3. Stratul valenţial al borului este $2s^22p$, deci în BF_3 avem trei perechi liante şi zero pereche neliante. Rezultă o structură de triunghi echilateral.

Aceasta este evident valabil pentru orice halogenură de bor.

Exemplul 3. Molecula de SnX_2 (X = Cl, Br, I). Stratul valenţial al staniului este $5s^2\ 5p^2$. Avem deci o pereche neliantă şi două perechi liante în SnX_2. Aceasta se poate reprezenta schematic astfel:

$$\begin{array}{ccc} & \cdot\ddot{\underset{\cdot}{\mathrm{Sn}}}\cdot & \\ \mathrm{X} & & \mathrm{X} \end{array}$$

de unde rezultă în mod univoc o structură unghiulară pentru astfel de molecule.

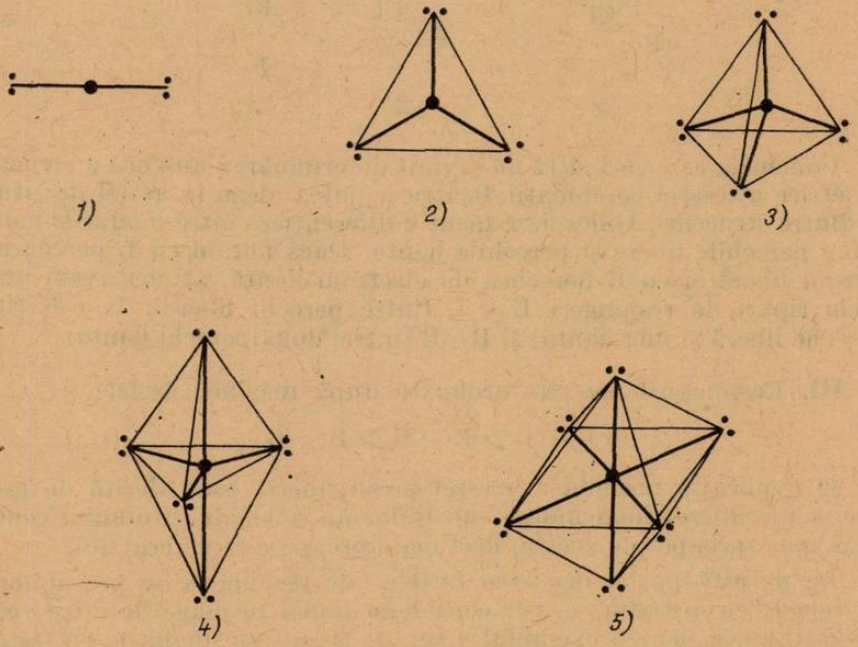


Fig. 1.
Dispunerea spaţială a perechilor de electroni în cazul diferitelor configuraţii geometrice. 1) liniară; 2) triunghi echilateral; 3) tetraedru; 4) bipiramidă triunghiulară; 5) octaedru

Putem da nişte formule simple pentru rezolvarea exemplelor concrete. Se poate vedea cu uşurinţă din expunerea de pînă acum că ceea ce ne interesează în primul rînd pentru stabilirea formei geometrice aproximative a moleculelor este numărul total de prechi electronice, N_p. Dacă notăm cu n_v numărul de electroni din stratul valenţial al atomului central şi cu n_l numărul liganzilor, avem

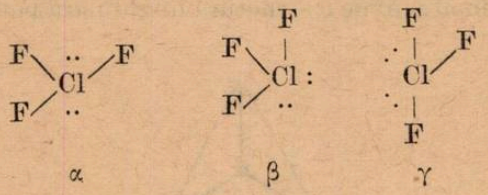
$$N_p = \frac{n_v + n_l}{2} \tag{1}$$

formulă care este valabilă pentru moleculele de tipul AX_n cu legături simple. Evident numărul de perechi liante va coincide cu numărul liganzilor. Înainte de a continua lectura rezolvaţi următoarea problemă:

Problema 1. Să se stabilească configuraţiile geometrice ale următoarelor molecule: $HgCl_2$, PbX_2 (X=Cl, Br, I) CH_4, NH_3, PF_3, F_2O, $TeBr_2$, PCl_5, $TeCl_4$.

Să continuăm acum cu un exemplu care ne va pune în faţa unei situaţii noi.

Exemplul 4. Molecula de ClF_3. Clorul are stratul valenţial cu structura $3s^2\ 3p^5$. În consecinţă vom avea 5 perechi de electroni în ClF_3, trei liante şi două neliante. Dacă ţinem seama de I şi II avem următoarele posibilităţi :
triunghi echilateral, bipiramidă triunghiulară şi structură în formă de T



α β γ

Concluzia este că I şi II nu permit determinarea univocă a structurii geometrice a acestei combinaţii. Pentru a putea alege în astfel de situaţii una dintre structuri, Gillespie a făcut o diferenţiere între modurile cum se resping perechile libere şi perechile liante. Dacă notăm cu L perechea de electroni liberă şi cu B perechea de electroni liantă, atunci avem următoarele tipuri de respingeri L — L (între perechi libere), L — B (între o pereche liberă şi una liantă) şi B—B (între două perechi liante).

III. Respingerile se află ordonate după mărime astfel:

$$L - L > L - B > B - B.$$

O explicaţie posibilă a acestei presupuneri este oferită de faptul că perechile libere, fiind numai sub influenţa nucleului atomului central, se află mai aproape de acesta, deci mai aproape una de cealaltă.

Pe de altă parte, deoarece forţele de respingere se presupune că scad repede cu distanţa, se vor considera numai respingerile între vecinii apropiaţi, adică pentru exemplul 4 cei aflaţi sub un unghi de 90° faţă de atomul central (considerat ca vîrf al unghiului). În acest caz avem pentru exemplul nostru :

α) 6 respingeri L—B

β) 1 respingere L—L, trei L—B şi două B—B

γ) 4 respingeri L—B şi două B—B

Se vede că cea mai convenabilă situaţie este γ, adică structură în formă de T.

În cazul în care liganzii sînt diferiţi, structurile regulate previzibile prin metodele de mai sus apar deformate. Dacă se ţine seama de diferenţele între liganzi se pot obţine configuraţii geometrice mai apropiate de realitate.

Ultima chestiune pe care dorim să o analizăm este aceea a moleculelor cu duble legături, sau cu legături covalent-coordinative care sînt deosebit de frecvent întîlnite. Pentru prezicerea configuraţiei lor geometrice, se procedează în conformitate cu următoarea regulă.

— În primul rînd se calculează după formula (1) un număr de perechi electronice, excluzînd din calcul liganzii legaţi cu duble legături sau cu legături covalent coordinative de atomul central.

Perechile electronice astfel determinate numeric se distribuie spațial conform regulilor stabilite mai sus.

— Se atașează atomii dublu legați la perechile electronice rămase neocupate de atomii simplu legați (adică la perechile neliante în terminologia folosită pînă acum).

Pentru mai multă claritate transcriem formula (1) pentru cazul moleculelor cu duble legături sau cu legături covalent coordinative :

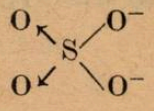
$$N_p = \frac{n_v + n_l'}{2} \qquad (2)$$

unde n_l' este numărul liganzilor simplu legați. Uneori este necesar să se țină seama de presupunerea, de altfel justificată, că dublele legături prezintă respingeri mai puternice decît cele simple.

Exemplul 5.

a) Molecula de CO_2, care se reprezintă $O{=}C{=}O$. Avem $n_v = 4$, $n_l' = 0$, Deci $N_p = 2$. Cele două perechi se vor așeza deci pe o dreaptă care trece prin C, de o parte și de alta a atomului central. Cei doi atomi de oxigen se atașează acestor perechi. Molecula de CO_2 este liniară.

b) Să stabilim configurația ionului sulfat care se poate reprezenta prin formula structurală



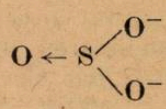
Avem $n_v = 6$ și $n_l' = 2$. Deci $N_p = 4$. Folosind procedeul indicat mai sus, găsim că ionul sulfat are o configurație geometrică tetraedrică.

Raționînd la fel ca în exemplu 5 se poate rezolva următoarea problemă, care se referă la aflarea configurațiilor geometrice pentru un mare număr de combinații frecvent întîlnite în chimie.

Problema 2. Să se determine configurațiile geometrice ale următoarelor molecule și ioni cu duble legături :

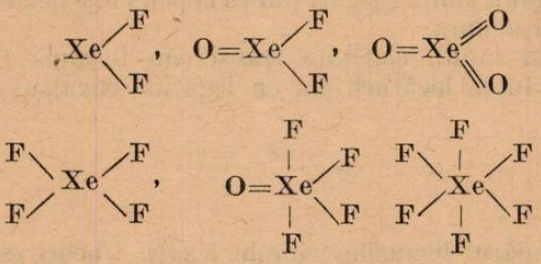
$SOCl_2$, SO_2Cl_2, $POCl_2$, $COCl_2$, $SO(O^-)_2$, $ClO(O^-)_2$, $BrO(O^-)$, $IO(OH)_5$, $ClNO$, H_3O^+, NH_4^+.

Prin $SO(O^-)_2$ de exemplu se înțelege :



Se știe că gazele nobile formează și ele o serie de compuși chimici. Remarcabil este în special xenonul, care participă la un număr mare de combinații, mai ales fluorooxigenate. Regulile introduse mai sus pot fi aplicate pentru a prevedea configurațiile geometrice ale acestor combinații.

Problema 3. Să se stabilească configurațiile geometrice ale următoarelor combinații ale xenonului, ținînd seama de formulele structurale indicate.



Atragem atenția în încheiere că aceste considerații nu sînt în general valabile pentru cazul în care atomul central este un metal tranzițional.

BIBLIOGRAFIE

1. *Day, M.C., Selbin,* J. „Theoretical Inorganic Chemistry" Reinhold Publishing Corporation N.Y., cap. 6.
2. *Maria Floriana Ivanov,* Revista de Fizică și chimie nr. 11 (1969) și nr.4 (1970).
3. *Gillespie, R. J. Njholm R.S.* Quart, Rev. Chem. Soc. 11, 339(1957).

DISPOZITIV PENTRU DEMONSTRAȚII ELECTROSTATICE

Dr. *I. GAVRILĂ,* Universitatea Brașov

1. Descrierea dispozitivului

Demonstrarea experimentală a proprietăților sarcinilor electrice a constituit obiectul multor lucrări. Intîlnim în acest domeniu diferite dispozitive ca de exemplu morișca lui Franklin, clopotul electric și altele, care și-au cucerit locul meritat în domeniul metodicii predării acestor probleme. Realizarea dispozitivelor cunoscute prezintă uneori dificultăți atît în ce privește funcționarea în bune condițiuni, cît și în ce privește construirea lor.

Construirea unor dispozitive care să asigure pe de o parte executarea exigentă, riguroasă, a demonstrațiilor proprietăților sarcinilor electrice, și pe de altă parte să dea posibilitatea efectuării cu acestea a unui număr cît mai mare de experiențe, constituie un factor important.

Dispozitivul pe care-l prezint în această lucrare, are mai multe calități și anume: permite executarea unor demonstrații experimentale ca atracția și respingerea sarcinilor electrice, principiul condensatorului, precum și a unei lucrări de laborator „Descărcarea unui condensator cu ajutorul unui pendul electric", ușor de efectuat.

Dispozitivul constă dintr-un condensator plan cu o armătură fixă (A) și una mobilă (B) fixate pe suporți izolanți (fig. 1). Armătura mobilă alunecă pe bancul MN, descriind o mișcare de translație, creînd astfel posibilitatea de modificare a distanței dintre armăturile A și B (fig. 2 și fig. 3).

În interiorul acestui condensator de o bară izolantă L, prevăzută la capăt cu un cîrlig, se agaţă un pendul electric format dintr-o sferă de aluminiu (C). Prin bara L, fixată prin şurubul S de suportul armăturii A, se reglează poziţia pendulului între armăturile A şi B.

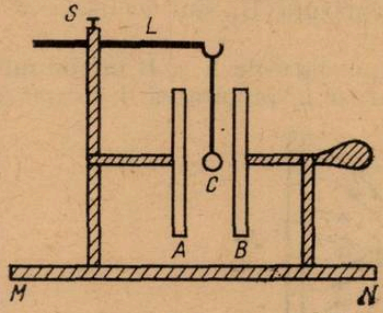


Fig. 1

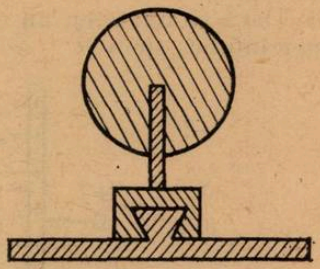


Fig. 2

2. Experienţe demonstrative

Cu ajutorul acestui dispozitiv pot fi efectuate mai multe experienţe demonstrative din electrostatică :

a) Experienţe cu pendulul electric, care se pot realiza obişnuit dacă pendulul va fi pus în poziţia din fig. 3.

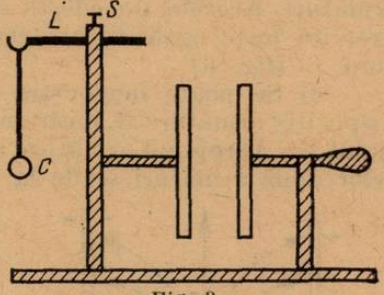


Fig. 3

b) Atragerea şi respingerea sarcinilor de semn contrar şi de acelaşi semn se poate reprezenta printr-o experienţă spectaculoasă.

Se încarcă armătura A cu sarcini pozitive ; armătura B este legată la pămînt. La momentul iniţial sfera (C) va fi atrasă de armătura A (datorită electrizării sferei prin influenţă (fig. 4a). Atingîndu-se de armătura A, sfera C se va încărca pozitiv. Între cele două corpuri încărcate cu electricitate pozitivă se vor exercita forţe de respingere (fig. 4 b). Sfera C se va deplasa la armătura B, unde se descarcă. Fiind atrasă din nou de armătura A, pendulul (C)

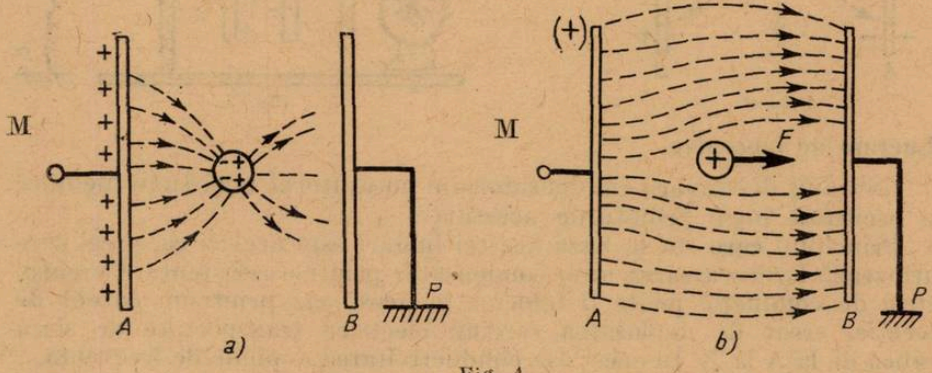


Fig. 4

va descrie oscilaţii întreţinute dacă prin borna M se va transmite periodic armăturii A, o sarcină egală cu cea pe care o transportă sfera C ;

oscilaţiile descrise de pendul se vor amortiza dacă încetează alimentarea cu sarcini electrice a armăturii A.

c) Dacă ambele armături vor fi legate la polii (+) (−) ai unei surse de curent, pendulul va rămîne în echilibru din cauză că forţele exercitate de armătura A, respectiv armătura B, sînt egale şi de sens contrar (fig. 5).

d) Dacă se unesc cu un conductor armăturile A şi B în timpul oscilaţiei pendulului, sfera (C) se opreşte brusc la jumătatea distanţei dintre

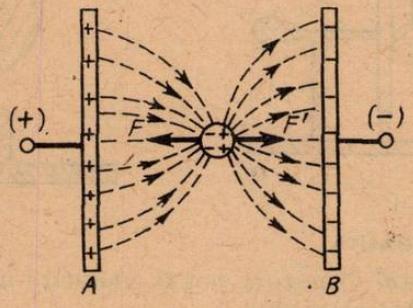


Fig. 5

armături. Aceasta dovedeşte că sfera încărcată cu electricitate pozitivă, exercită forţe egale de atracţie şi faţă de armătura A şi faţă de armătura B (fig. 6).

e) Se poate demonstra principiul condensatorului. Înlăturînd din dispozitiv armătura B, încărcînd armătura A, electroscopul va indica potenţialul V'. Apropiind armătura B de A, potenţialul corespunzltor sistemului celor două armături scade la V (fig. 7).

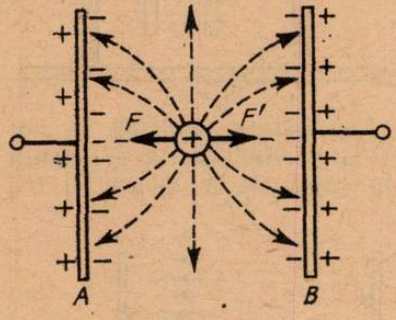


Fig. 6

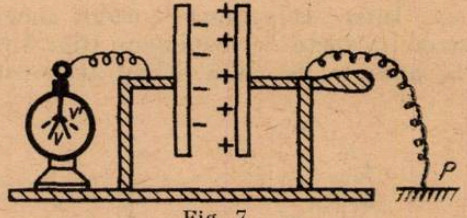


Fig. 7

3. Lucrare de laborator

„Studiul descărcării condensatorului cu ajutorul unei sfere metalice care oscilează între armăturile acestuia"

Principiul care stă la baza acestei lucrări este acelaşi ca şi cel care se utilizează la descărcarea unui condensator printr-o rezistenţă. Curentul electric de conducţie poate fi înlocuit în acest caz printr-un curent de convecţie, creat de deplasarea sarcinii electrice transportate de sfera metalică de la A la B. În acest caz conductivitatea depinde de frecvenţa ν a oscilaţiei pendulului electric între armăturile condensatorului şi de sarcina q pe care o transportă [$\gamma = f(q, \gamma)$], de unde $R = f\left(\frac{1}{\gamma}\right)$.

Ţinînd cont că între diferenţa de potenţial dintre armături şi frecvenţa oscilaţiilor pendulului electric (ν) există o directă proporţionalitate, se poate scrie :

$$dV = k\,d\nu \tag{1}$$

unde $dV = V_A - V_B$, iar k este o constantă, $[k] = V.s$.

Folosind relaţia

$$C = \frac{dQ}{dV} \tag{2}$$

putem scrie :

$$C\,k\,d\,\nu = -\,d\,Q \tag{3}$$

unde :

$$dQ = I\,dt = \nu\,q\,dt. \tag{4}$$

ν este frecvenţa de oscilaţie a sferei între cele două armături, t — timpul de descărcare a condensatorului, q — sarcina electrică transportată de sfera C, de pe armătura A pe armătura B. (În studiul pe care-l efectuăm considerăm oscilaţiile numai pentru timpul în care sfera C transportă de fiecare dată sarcni electrice aproximativ egale cu sarcina electrică iniţială).

În aceste condiţii, înlocuind relaţia (4) în (3) obţinem ecuaţia diferenţială :

$$\frac{d\nu}{\nu} = -\frac{q}{Ck}\,dt, \tag{5}$$

care integrată :

$$\int\frac{d\nu}{\nu} = -\int\frac{q}{Ck}\,dt$$

ne dă :

$$\nu = \nu_0 e^{-\frac{q}{Ck}t} \tag{6}$$

Frecvenţa oscilaţiei pendulului electric descreşte exponenţial cu timpul de descărcare a condensatorului. După un anumit timp de descărcare cînd potenţialul scade suficient de mult pentru ca sfera C să se încarce cu o sarcină $q' < q$, se produce o scădere mai bruscă a frecvenţei pendulului respectiv.

Ţinînd cont de relaţia (1) putem trage concluzia că descreşterea frecvenţei pendulului în funcţie de durata de descărcare a condensatorului în cazul unui curent de convecţie are loc în condiţiile puse după o exponenţială, în mod asemănător ca în cazul curentului de conducţie, (descărcarea condensatorului printr-o rezistenţă dată).

4. Rezultate experimentale

Pentru experimentare s-a utilizat un condensator cu armăturile în formă de discuri metalice nichelate cu diametrul de 11cm. Încărcarea armăturii A s-a efectuat cu ajutorul unei maşini electrostatice.

Frecvenţa s-a determinat pe baza numărării oscilaţiilor pendulului electric într-un anumit timp $\left(\nu = \frac{n}{t'}\right.$ unde n reprezintă numărul de oscilaţii şi t' timpul în care au fost efectuate). Timpul de descărcare a condensatorului se măsoară cu un cronometru, care se porneşte imediat ce s-a

încărcat armătura A, iar t' cu un alt cronometru, la diferite momente ale descărcării. În cazul unor încărcări mai mari sau a distanțelor mici dintre armăturile AB — cînd oscilațiile pendulului nu se mai pot număra —

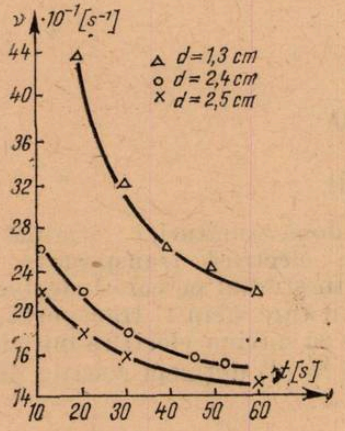


Fig. 8

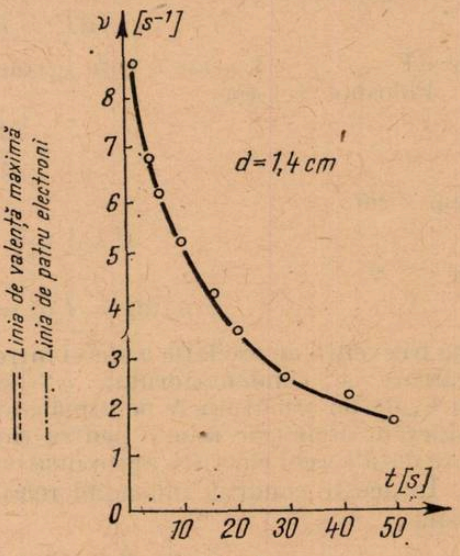


Fig. 9

sau chiar pentru o mai mare precizie, determinarea timpului t', măsurarea frecvenței se poate efectua cu ajutorul unui magnetofon, care va înregistra pentru durate egale de timp numărul coicnirilor sferei C de armăturile condensatorului. Numărarea oscilațiilor se face prin pornirea magnetofonului cu o viteză mai mică decît la înregistrare.

Rezultatele experimentale obținute de autor sînt prezentate în tabelul 1, iar funcțiile (8) sînt reprezentate în fig. 8 (măsurări obișnuite) și în fig. 9 (măsurări cu ajutorul magnetofonului).

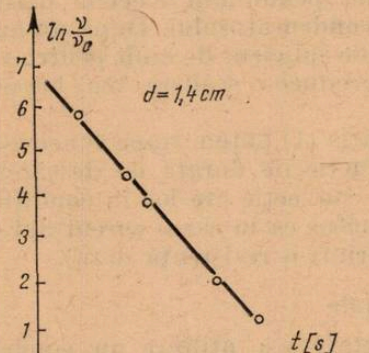


Fig. 10

Rezultatele experimentale sînt în concordanță cu prezentarea teoretică, descreșterea frecvenței oscilațiilor pendulului electric în funcție de timpul de descărcare avînd loc după o funcție exponențială. Relația (8) își are deci verificarea ei prin fig. 8, fig. 9, și fig. 10.

Tabel 1

Distanța între armăturile A și B							
2,5 cm		2,4 cm		1,3 cm		* 1,4 cm	
ν s^{-1}	t s	ν s^{-1}	t s	ν s^{-1}	t s	t s	ν s^{-1}
2,2	10	2,6	7	4,4	20	2	8,7
1,8	20	2,0	20	3,2	30	4	6,9
1,6	30	1,8	30	2,6	40	8	6,1
1,4	60	1,6	45	2,4	50	10	5,2
1,2	95	1,4	50	2,2	60	16	4,3
—	—	—	—	1,8	70	20	3,5
—	—	—	—	1,4	80	29	2,6
—	—	—	—	—	—	42	2,2
—	—	—	—	—	—	50	1,7

* Date obținute prin utilizarea magnetofonului

5. Concluzii

Din cercetările efectuate, rezultă că dispozitivul prezentat are două laturi importante și anume:

a) Poate fi utilizat pentru demonstrații experimentale privind interacțiunea dintre sarcinile electrice și principiul condensatorului.

b) Servește pentru efectuarea unei lucrări de laborator: descărcarea unui condensator prin curentul de convecție. La descărcarea unui condensator prin curentul de convecție tensiunea dintre armăturile condensatorului descrește exponențial cu timpul de descărcare, în mod asemănător cu descărcarea condensatorului printr-o rezistență dată (adică este tot o descărcare aperiodică).

CONSTRUIREA ȘI EXPERIMENTAREA UNUI EXAMINATOR AUTOMAT

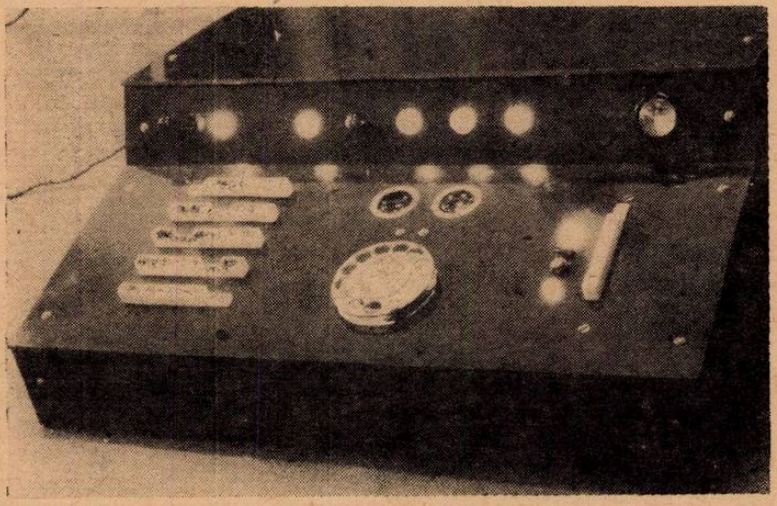
Prof. *I. CURIEVICI*, asist. *V. NAGACEVSCHI*, un colectiv de studenți, Iași

În cadrul disciplinei de Automatizări a facultății de Chimie industrială, studenții cercului științific au construit un examinator automat.

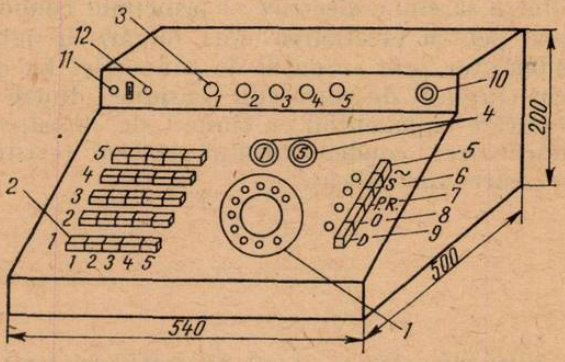
Acest examinator poate fi folosit pentru: — examinare la colocviile de laborator; — efectuarea lucrărilor de control; — autocontrolul în procesul de învățare individuală; — întărirea cunoștințelor noi învățate, prin repetare;

Aparatul se deosebește de mașinile analoage printr-un program de mare capacitate și o codificare automată, nelegată de pregătirea unor cartoteci speciale sau benzi perforate.

Panoul frontal al aparatului se prezintă astfel:



Legendă:
1 — disc telefonic pentru formarea codului biletului. 2 — claviatură corespunzătoare întrebării Nr. 1. 3 — bec pentru indicarea răspunsului corect la întrebarea Nr. 1. 4 — indicatoare numerice a codului biletului. 5 — buton întrerupător rețea. 6 — buton „start". 7 — buton „Precizarea răspunsului". 8 — buton „Aducerea manuală la zero". 9 — buton „Deconectat". 10 — bec control rețea. 11 — bec control pentru regim „examinator". 12 — bec control pentru regim „repetitor".



Pentru utilizarea aparatului se folosesc bilete de examen de forma arătată mai jos. Dintre cele 5 variante de răspunsuri la o întrebare numai un răspuns este corect, celelalte fiind false.

Mașina poate fi folosită în două regimuri de lucru; 1) „Ca examinator" cînd se acceptă o singură combinație de răspunsuri la cele 5 întrebări ale biletului. După formarea combinației aparatul indică imediat care sînt întrebările la care s-a răspuns corect, dacă numărul acestora este cel puțin 3. În caz contrar examinatorul automat consideră răspunsul global dat biletului drept nesatisfăcător (se aprinde un anumit beculeț).

2) ca „repetitor" — cînd pentru un bilet se pot încerca succesiv diferite combinaţii de răspunsuri, pînă se găsesc răspunsurile corecte. Aparatul indică răspunsul corect şi pentru o singură întrebare.

Nr. întreb.	Intrebare	Răspunsuri	Nr. cod răspuns
1.	Structura cristalină a celulozei după Meyer şi Misch. Conţinutul material al ochiului elementar cristalin.	a) Un rest celobiozic	3
		b) 5(cinci) resturi celobiozice ...	 5
		c)2(două) resturi celobiozice....	2
		d)4(patru) resturi celobiozice...	1
		e) 2(două) resturi glucozidice..	4
2.	.....	a)	1
	.....	b)	3
		c)	4
		d)	2
		e)	5
3.	.....	.....	.....
4.	.....	.....	.....
5.	.....	a)	2
	.....	b)	4
		c)	5
		d)	1
		e)	3

Modul de folosire. Pentru examinare aparatul se află comutat în regim de „examinator". Studentul primeşte un bilet de examen cu un număr de cod (de la 1 la 50), şi formează acest număr pe discul telefonic al aparatului. Numărul de cod apare indicat vizual pe ecranul a două indicatoare numerice. Examinatorul are cîte o claviatură cu 5 clape pentru fiecare întrebare din bilet. Fiecărei clape din claviatură îi corespunde o variantă de răspuns. Subiectul alege o variantă de răspuns pentru fiecare întrebare şi apasă clapa corespunzătoare. După ce a răspuns la toate întrebările subiectul apasă butonul *Start*. Aparatul indică rezultatul pe beculeţele corespunzătoare fiecărei întrebări. Beculeţul se aprinde numai dacă răspunsul la întrebare este corect. După circa 7 secunde de vizualizare a rezultatului aparatul revine automat la zero (indicaţia zero apare pe indicatoarele numerice) şi aparatul este apt pentru o nouă examinare.

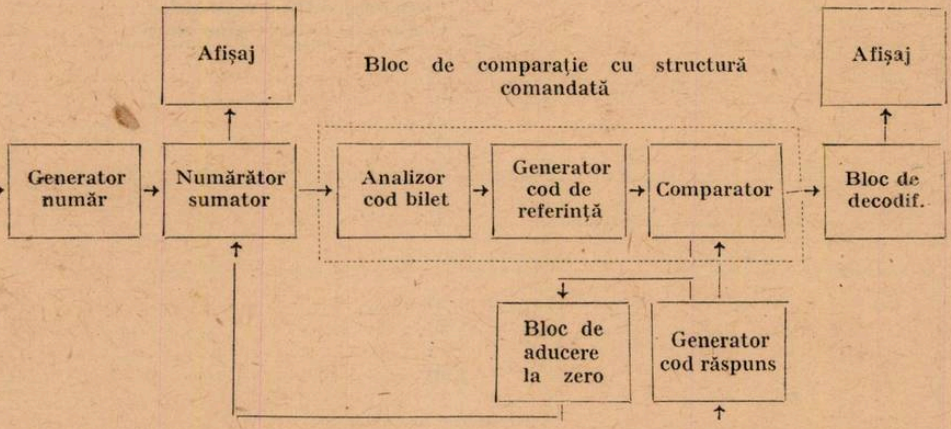
Dacă rezultatul global al răspunsului la bilet este nesatisfăcător (sub 3 răspunsuri exacte), subiectul poate afla la care dintre întrebări a răspuns corect apăsînd butonul „Precizarea răspunsului".

Pentru autocontrol aparatul se comută în regim de „repetitor". Studentul foloseşte acelaşi tip de bilet. Se formează numărul de cod al biletului pe discul telefonic, apoi se încearcă o variantă de răspuns la una din întrebări, sau la mai multe întrebări, apăsînd clapele corespunzătoare. După apăsarea butonului „Start" aparatul indică rezultatul. Pentru reluare se apasă butonul „Deconectat" şi se încearcă alte variante apăsînd clapele corespunzătoare, apoi butonul „Start". După întreaga analiză a biletului aparatul se aduce la zero apăsînd butonul „Aducere manuală la zero".

Performanțele examinatorului automat. Aparatul poate fi folosit pentru examinarea succesivă a răspunsurilor date la 50 de bilete de examen. Deoarece un bilet conține 5 întrebări, capacitatea de examinare a aparatului este de 250 întrebări, acesta putînd analiza 1250 de variante de răspunsuri. Programarea examinatorului pentru cele 50 de bilete se poate schimba cu ajutorul unor contacte interschimbabile aflate în interiorul aparatului.

Construcția. Examinatorul automat a fost construit din relee telefonice existente în dotarea laboratorului de Automatizări.

Schema bloc a aparatului este următoarea :



Experimentarea aparatului. Examinatorul automat a fost folosit în cadrul examenului a două grupe de studenți din anul IV la disciplina Chimia lemnului. S-au întocmit 20 de bilete de examen cu cîte 5 întrebări, variantele de răspuns diferind prin anumite elemente greu discernabile. Ponderea fiecărei întrebări în bilet s-a apreciat ca fiind aproximativ aceeași.

Examenul cu cele două grupe s-a dat în două zile diferite. Fiecare student „răspundea" în fața examinatorului automat, apoi, pentru comparație, era examinat normal în fața profesorului (profesor examinator acad. prof. Cr. Simionescu).

La prima grupă rezultatele examinării în paralel au fost comparabile (vezi tabela 1).

Din tabel se observă că notele obținute în cele două moduri de examinare nu diferă prea mult. La 15 studenți examinați sînt două cazuri de concordanță deplină a notelor (nr. 6 și nr. 9), șapte cazuri cînd diferența dintre note este de ± 1 punct, cinci cazuri cînd diferența este $\pm$ 2 puncte și un singur caz cînd diferența este de $+3$ puncte.

Abaterea medie a notei obținută la examinatorul automat este de 1,33 puncte, respectiv 13,3% față de nota obținută în fața profesorului.

La cealaltă grupă examenul a decurs în același mod. Intenționat nu s-au făcut schimbări nici în conținutul biletelor, nici în codificarea acestora. Studenții au profitat de acest fapt, astfel încît rezultatele nu mai sînt comparabile. La examinatorul automat majoritatea rezultatelor au fost foarte bune (cîteva note de 8, restul note de 10), ceea ce nu concordă

Tab. 1

Nr. crt.	Student	Nr. de întreb. pe bilet	Nr. de întreb. la care s-a răspuns corect	Nota dată de examin. automat.	Nota obț. la exam. profesorului	Dif. între note (abs.)	(%)
1.	A	5	2	4	5(cinci)	−1	−10
2.	B	5	2	4	6(șase)	−2	−20
3.	C	5	2	4	5(cinci)	−1	−10
4.	D	5	4	8	7(șapte)	+1	+10
5.	E	5	1	2	4(patru)	−2	−20
6.	F	5	4	8	8(opt)	0	0
7.	G	5	3	6	7(șapte)	−1	−10
8.	H	5	2	4	6(șase)	−2	−20
9.	I	5	4	8	8(opt)	0	0
10.	J	5	2	4	5(cinci)	−1	−10
11.	K	5	4	8	9(nouă)	−1	−10
12.	L	5	5	10	7(șapte)	+3	+30
13.	M	5	5	10	9(nouă)	+1	+10
14.	N	5	1	2	4(patru)	−2	−20
15.	0	5	5	10	8(opt)	+2	+20

Observații. Ponderea întrebărilor din bilete considerîndu-se egală, un răspuns corect la examinatorul automat se notează cu două (2) puncte.

cu rezultatele obținute la o examinare obișnuită (s-a obținut toată gama de note, majoritatea între 6 și 8).

Din această experimentare a examinatorului automat se pot trage unele concluzii :

1. Examinarea cu un asemenea aparat are anumite avantaje :

a) se introduce un criteriu obiectivant, studentul putînd constata el însuși valoarea răspunsului pe care îl dă.

b) eliberează pe cel ce examinează de atenția necesară în urmărirea calității răspunsului.

c) permite un control rapid, succesiv, al unui mare număr de studenți, fără a expune pe cel ce examinează la verificarea plicticoasă a acelorași răspunsuri.

2. Rezultatele examinării obiective la examinatorul automat nu diferă mult de cele obținute la o examinare obișnuită, dacă se respectă anumite condiții :

a) întrebările din bilete trebuie să acopere materia de examen și să fie judicios făcute. Fiecare din variantele de răspunsuri să fie suficient de tentante pentru cel ce nu cunoaște bine această materie.

b) ponderea întrebărilor dintr-un bilet să fie sensibil egală. În caz contrar la stabilirea notei trebuie să se țină seama de această pondere.

c) să nu se cunoască inițial conținutul biletului și variantele false ale răspunsurilor și nici codul acestora.

3. Examinarea la o disciplină teoretică cu acest tip de examinator este defectuoasă din următoarele puncte de vedere :

a) solicită dominant memoria celui examinat și nu investighează în suficientă măsură capacitatea de raționament a acestuia.

b) Este foarte dificil cîteodată să se întocmească un set de bilete de examen. Formularea adecvată a întrebărilor, egalizarea ponderilor acestora, găsirea variantelor de răspuns potrivite, implică mari eforturi.

c) Pentru un examen repetat cu diferite grupe de studenţi trebuie schimbată codificarea biletelor şi a variantelor de răspuns.

4. Folosirea aparatului în regim de „repetitor" este eficientă, acesta putînd fi utilizat cu succes pentru îmbogăţirea vocabularului la limbi străine.

BIBLIOGRAFIE

1. Revista „Radio" Nr 6, 1968, pag. 14–16, URSS.
2. Revista „Radio" Nr. 10, 1968, pag. 17. URSS.

O MAŞINĂ SIMPLĂ DE VERIFICARE PROGRAMATĂ

Prof. *ŞTEFAN ERDEI*, Săcuieni-Bihor

Apariţia învăţămîntului programat a pus pe primul plan şi verificarea programată, care împotriva opoziţiilor întîmpinate a demonstrat eficacitatea sa. Experienţa acumulată pînă în prezent justifică incontestabil aplicarea verificării programate — bineînţeles nu prin aplicarea exclusivă, ci printr-o îmbinare armonioasă cu metode clasice.

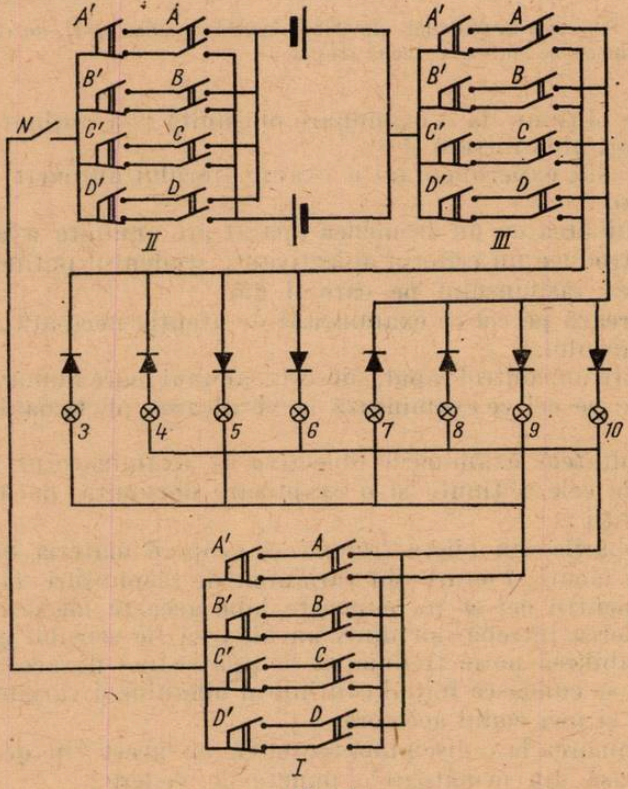


Fig. 1

Sub acest aspect promiţător a fost construită la şcoala noastră o maşină de verificare pe bază de teste programate, cu răspunsuri la alegere. Construcţia maşinii este extrem de simplă, ieftină şi se poate realiza cu un număr minim de piese, după schema de pe figura 1.

Lista materialelor necesare este următoarea :

— 24 întrerupătoare cu 2 × 2 contacte ; — 8 bucăți becuri 4,5V cu 8 dulii corespunzătoare ; — 8 detectoare de 0,2 A ; — 2 baterii de 4,5V ; — 1 întrerupător de sonerie ; —2 plăci pertinex (textolită sau ebonită) cu mărimea 30 × 20 cm² — Diverse materiale mărunte de montaj ca : șuruburi, cuie, etc.

Montajul aparatului se realizează pe cele 2 plăcuțe pertinex urmînd apoi ca tot ansamblul să fie introdus într-o cutie de lemn (30 × 20 × 10cm³) din figura 2. Pe partea din fața a plăcii de textolită (fig. 2) a cutiei se află

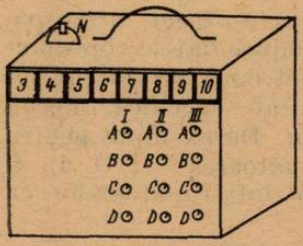


Fig. 2

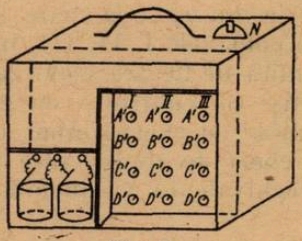


Fig. 3

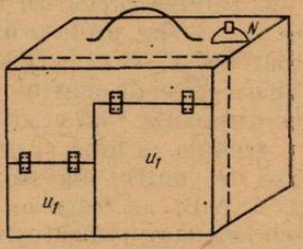


Fig. 4

montate cele 3 coloane de întrerupătoare notate cu literele A, B, C, D ; deasupra lor 8 ferestre mici semitransparente cu cifre înscrise pe ele de la 3 la 10 (fig. 2) și cele 8 beculețe în spatele lor. Pe partea superioară a cutiei se află întrerupătorul de sonerie N și un mîner de piele pentru transportarea aparatului.

În interiorul aparatului se află o altă plăcuță textolită paralelă cu cea din față, pe care sînt montate cele 3 coloane de întrerupătoare A', B', C', D', precum și 3 orificii pentru conductoarele de la baterii (fig. 3). Spatele aparatului este acoperit cu o placă PFL cu 2 uși : u_1 pentru introducerea bateriilor și u_2 pentru folosirea întrerupătoarelor A', B', C', D' (fig. 4).

Folosirea și funcționarea aparatului se bazează pe următoarele principii practic justificate de învățămîntul programat :

I. Elevul este verificat cu ajutorul unui test programat (fișa de control) compus din 3 întrebări cu răspunsuri la alegere (anexele 1,2), dependente sau independente, cu un punctaj diferențiat[1] în funcție de gradul de dificultate al întrebărilor. Greutatea specifică a întrebărilor privind efortul intelectual necesar pentru rezolvarea lor crește după un șir geometric în așa fel încît pentru prima întrebare se acordă 1 punct, pentru a doua 2 puncte, iar pentru a treia 4 puncte.

2. Modul de acordare a notei de către mașină este parametric[2] : nota minimă este 3, cînd elevul nu realizează nici un punct, adică nu răspunde corect la nici o întrebare. Nota obținută prin mașină poate fi penalizată global cu scăderea unuia sau mai multor puncte conform duratei de timp cu care se depășește timpul inițial acordat pentru rezolvarea problemelor din fișa de control.

---

[1]) Considerații teoretice privind verificarea programată, Revista de pedagogie nr. 7/1970 pag. 17—18.

[2]) Rolul mașinilor didactice de instruire și de examinare în modernizarea învățămîntului — Revista de pedagogie nr. 10/1969 pag. 19.

3. Verificarea cu mașina se poate realiza în mod independent, sau paralel cu verificarea clasică— fie frontală, fie individuală. Odată cu elevul desemnat pentru verificarea individuală cu metoda clasică, se face și desemnarea elevilor pentru verificare programată, înmînîndu-se fișele de control, diferite pentru diferiți elevi. După terminarea verificării clasice, elevii desemnați pentru verificarea programată se deplasează la mașina de verificat. Prin apăsarea butoanelor corespunzătoare răspunsurilor alese — considerate juste de ei — din coloanele I, II, III notate cu A, B, C, D și prin apăsarea butonului N cu care aparatul intră în funcțiune, devine luminoasă una din ferestrele numerotate de la 3 — 10, se face autonotarea pregătirii lor. Bineînțeles printr-o manevră rapidă cu durata de 2 — 3 sec. profesorul prin ușa u_2 de la spate și cu ajutorul întrerupătoarelor A', B', C', D' din coloanele I, II, III, introduce datele corespunzătoare fișei de control primită de fiecare elev. Astfel dacă profesorul are la dispoziție mai multe fișe de control — cu greutate specifică diferită — trebuie să aibă și un tabel cu cheia-simbol a lor. De exemplu pentru fișe de control alăturate cheia de simbol este următoarea : 1, D. B. B 2. D.A.B...., care este echivalentă cu inchiderea întrerupătoarelor cu semnele corespunzătoare.

4. Mașina noastră se încadrează în tipul mașinilor de examinare care acordă notă și care lucrează cu program separat [2]. Deci valoarea pedagogică a mașinii de examinare constă în valoarea programei de verificare pe care o alcătuiește și o formulează profesorul. Mașina permite, prin funcționarea ei, verificarea unui număr mare de elevi într-un timp foarte scurt — chiar pe bază de teste programate diferite, adaptate în mod diferențiat la nivelul aptitudinilor intelectuale ale elevilor slabi, mediocri și buni. Pe de altă parte în rîndurile elevilor se manifestă o atitudine formativă — afectiv-atractivă — față de acest aparat caracteristică tineretului nostru de azi, față de tehnica modernă. Acest mod de examinare are un caracter foarte stimulant asupra învățării, elevii lucrează cu mare elan pentru demonstrarea aptitudinilor intelectuale personale. Este evident că alcătuirea fișelor de control cere un efort mare din partea profesorului, dar aceste fișe pot fi folosite și în alți ani.

5. Are un rol convingător, datorită faptului că controlul fișelor este făcut de mașină, care realizează o notare obiectivă.

6. Alegerea răspunsului corect cere un efort intelectual bazat pe gîndirea logică a fiecărui elev. Este necesară cunoașterea de către elevi a mai multor lecții și chiar capitole întregi în interdependența lor. Orice întrebare necesită atît capacitate de recunoaștere a celor învățate cît și descoperirea legăturilor dintre noțiuni și fenomene învățate în capitole și lecții diferite. Cu ajutorul fișelor de control întocmite în acest sens este minimă posibilitatea de ghicire a răspunsului corect. Probabilitate din punct de vedere matematic foarte redusă : din cele 60 de variante posibile doar 6 sînt cu note 5 și peste 5. Pe de alte parte prin includerea altor întrerupătoare este posibilă creșterea numărului răspunsurilor la alegere.

Prin introducerea unui releu electromagnetic, este posibilă adaptarea aparatului pentru 4 întrebări, la care numărul punctajului acordat pentru întrebări crește după un șir aritmetic. Acest lucru însă duce la complicarea construcției aparatului, care devine mai greu de realizat cu mijloace reduse.

ANEXA 1

Fişa de control nr. 1: Căderea liberă

1. De la aceeaşi înălţime cade în acelaşi moment 1 kg de pene şi 2 kg de fier. Care ajunge mai repede la pămînt în aer şi în vid?
   — Atît în aer cît şi în vid ajung odată la pămînt . . . . . A
   — Atît în aer cît şi în vid fierul ajunge mai repede la pămînt . . . . . B
   — În aer fierul, iar în vid penele ajung mai repede la pămînt C
   — În aer fierul ajunge mai repede la pămînt, iar în vid ajung odată la pămînt . . . . . D
2. Cînd se distruge mai tare un obiect, dacă cade de la etajul I, sau dacă cade de la etajulIII, şi de ce?
   — Cînd cade de la etajul III pentru că este mai puternic atras de pămînt . . . . . A
   — Cînd cade de la etajul III pentru că ajunge cu viteza $v = \sqrt{2gh_3}$, mai mare, la pămînt ($h_3 > h_1$) . . . . . B
   — Cînd cade de la etajul I pentru că fiind mai apropiat de pămînt este mai puternic atras de pămînt C
   În aceeaşi măsură se distruge, pentrucă în aceeaşi măsură este atras de pămînt în ambele cazuri . . . . . D
3. Un corp cade de la înălţimea h_1 şi atinge pămîntul cu viteza v_1. De cîte ori tebuie să fie înălţimea mai mare, pentru ca viteza v_2 cu care atinge pămîntul, să fie de 3 ori mai mare?
   — Nu se poate determina deoarece v_1 nu este cunoscută. Astfel dacă ar fi cunoscută : $v_1 =$ $= 20$ m/s, atunci $v_2 = 3.v_1 = 60$ m/s. Cu ajutorul formulei $v = \sqrt{2gh}$ obţinem $h_1 =$ $= 20$ m/s şi $h_2 = 180$ m, deci $h_2 = 9h_1$ . . . . . A
   — Luînd $v_1 = \sqrt{2gh_1}$ şi $v_2 = \sqrt{2gh_2}$ împărţindu-le obţinem $\frac{h_2}{h_1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 = 3^2 = 9$ . . . Deci de 9 ori trebuie să fie înălţimea mai mare pentru ca viteza să fie de 3 ori mai mare . . B
   — Nu se poate determina pentru că nu se cunoaşte h_1. Dacă ar fi cunoscută : $h_1 = 20$ m atunci prin formula $v_1 = \sqrt{2gh_1} = 20$ m/s de unde $v_2 = 3.20 = 60$ m/s şi prin $v_2 = \sqrt{2gh_2}$ obţinem pe $h_2 = 180$ m. Deci $h_2 : h_1 = 180 : 20$ respectiv de 9 ori trebuie să fie înălţimea mai mare pentruca viteza să fie de 3 ori mai mare C
   — Din formulele : $h_1 = \frac{gt_1^2}{2}$, $h_2 = \frac{gt_2^2}{2}$, prin împărţire obţinem : $\frac{h_2}{h_1} = \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2$. Întrucît t_1 şi t_2 nu sînt cunoscute, raportul $h_2 : h_1$ nu este determinabil . . . . . D

ANEXA 2

Fişa de control nr. 2: Topirea şi solidificarea

1. Ce influenţă are asupra mediului apropiat o bucată de gheaţă în topire, şi de ce?
   — Se încălzeşte mediul deoarece procesul de topire duce la degajarea de energie calorică . . . . . A
   — Nu are influenţă asupra mediului deoarece în procesul de topire temperatura gheţii în topire este constantă . . . . . B
   — Se răceşte mediul deoarece gheaţa este mai rece decît mediul C
   — Se răceşte mediul deoarece : gheaţa este mai rece decît mediul şi pe de altă parte procesul de topire se petrece în detrimentul energiei calorice absorbită de la mediul apropiat . D
2. În care din cazurile mai jos amintite florile livezilor sînt protejate de îngheţare în perioada nopţilor reci de primăvară?
   — Sînt protejate dacă florile sînt stropite cu apă, deoarece apa îngheţînd pe flori cedează căldură şi formează un strat de izolaţie termică. Mai sînt protejate şi în cazul afumării în livezi . . . . . A
   — Sînt protejate în stare uscată, deoarece nu se formează strat de gheaţă pe flori . . . . B
   — Sînt protejate în locurile ferite de vînt : în văi, între clădiri C
   — Numai în cazul afumării în livezi sînt protejate . . . . . D
3. Într-o zi de iarnă fără vînt 1 kg de apă se găseşte afară. Ştiind că spre ziuă temperatura este de $-10°C$, iar la prînz $+10°C$, Care este cauza variaţiei de temperatură? Ce cantitate de căldură cedează apa prin răcire de la $+10°C$ la $-10°C$? $\left(c_{apă} = 4185{,}5 \frac{J}{kg_{grd}}; \quad c_{gheaţă} = \right.$

$\left. = 2038{,}3 \frac{J}{kg_{grd}}; \; L = 333291 \frac{J}{kg}\right)$

— Variația temperaturii se datorește faptului că soarele apune și nu mai încălzește stratul de aer de la suprafața pământului, care se răcește de sus în jos. Căldura cedată de apă : $Q = mc\,\Delta t = 1.4185{,}5[10-(-10)]$ J= 82370J . . . . . A

— Variația temperaturii se datorește faptului că soarele apune și nu mai încălzește stratul de aer de la suprafața pământului, care se răcește de sus în jos. Căldura cedată de apă : $Q = m_a c(t_1 - 0) + mL + mc_g(0 - t_2) = 4185\text{J} + 333291\text{J} + 20383\text{j} = 395529$ J . . . . . B

— Variația temperaturii se datorește curenților de aer reci de sus în jos. Căldura cedată de apă : $Q = mc_a\Delta t + mL = 83710\text{J} + 333291\text{J} =$ 417.001J C

— Variația temperaturii se datorește curenților de aer reci. Căldura cedată de apă : $Q =$ $Q = mc_a\ \Delta t + mL = 40766\text{J} + 333291\text{J} =$ 374057J . . . . . D

MAȘINĂ DE INSTRUIRE PROGRAMATĂ, REALIZATĂ ÎN CADRUL CERCULUI TEHNICO-PRODUCTIV AL ELEVILOR DE LICEU

Prof. *LEONTIN DOMIDE*, Liceul nr. 3, Baia Mare

Elevii claselor a XI D și E și ai clasei a X-a C secția umanistă de la Liceul Nr. 3 din Baia Mare, constituiți într-un cerc cu caracter tehnico-productiv au construit o mașină de instruire programată tip S Kinner cu următoarele funcții :

a) învățare, recapitulare, fixare ;

b) verificarea cunoștințelor (examinare).

Dispozitivul, de mărimea unei mașini de scris, este redat în ansamblu în fig. 1, unde dimensiunile scrise sînt exprimate în centimetri.

Mașina este construită din material plastic cu grosimea de 0,5 cm, cu pereții îmbinați prin lipire sau din lemn cu grosimea de 1cm pe care s-a lipit melacard bej.

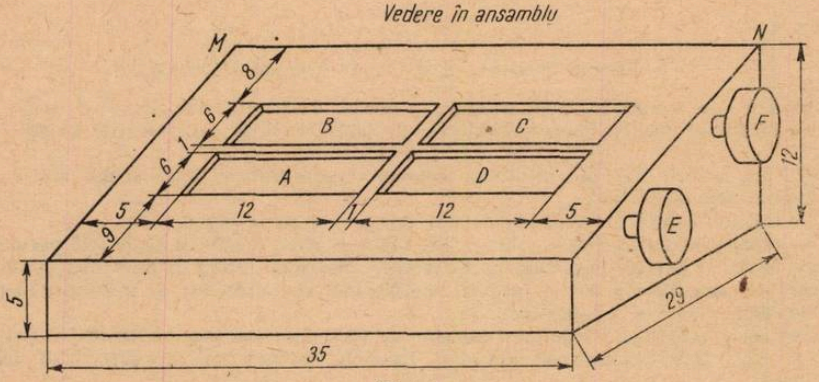


Fig. 1

Baza mașinii este confecționată din același material.

Pe această bază se ridică pereții laterali, cei din față și spate de formă dreptunghiulară. Partea superioară a mașinii este prevăzută cu un capac mobil ce se poate roti în jurul muchiei MN prin intermediul unor balamale. În capacul mașinii sînt tăiate patru geamuri dintre care trei (A, B și C) sînt acoperite cu sticlă sau plexi transparent, iar geamul de jos D, este descoperit și servește ca masă de lucru a elevului.

Pe sub geamurile A şi B trece banda programată împărţită în secvenţe precum se vede în fig. 3.

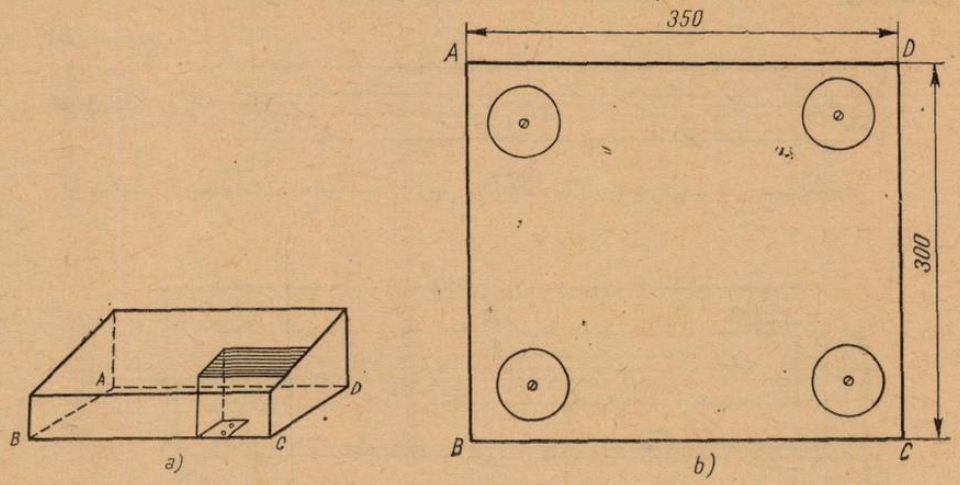


Fig. 2

Pentru fiecare sevcenţă s-a rezervat un spaţiu de 12 × 6 cm, din care pentru zona de confirmare 12 × 4 cm, iar pentru informaţie, temă sau întrebare 12 × 2 cm.

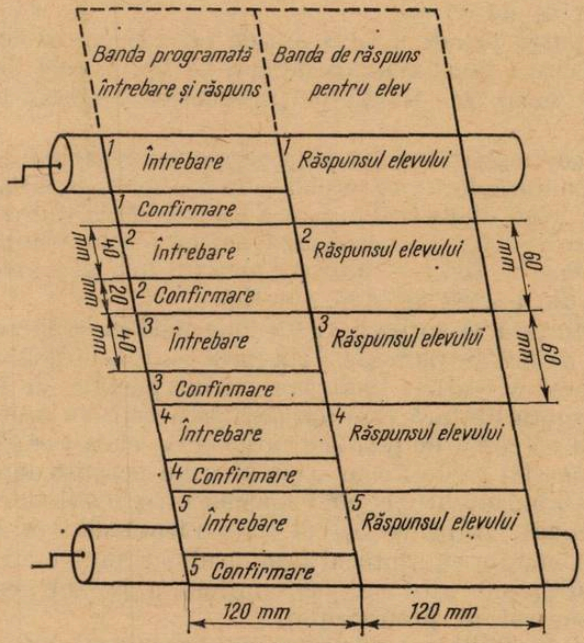


Fig. 3

Excepţie de la această regulă face numai secvenţa întîia de pe banda programată a cărei faţă este rezervată în întregime pentru a trece informaţia.

Rularea celor două benzi paralele, separate, banda programată și banda de răspuns, se face prin mijlocirea a doi tamburi — fig. 4 — care se rulează mecanic cu ajutorul butoanelor E, F — fig. 1.

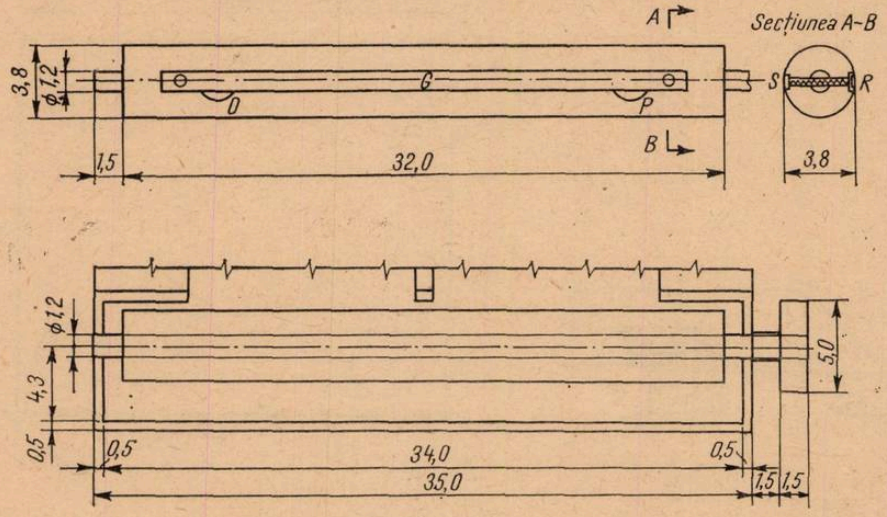


Fig. 4

Butoanele sînt prinse pe axul metalic al tamburului. Acest ax metalic al tamburului este introdus într-un cilindru de lemn cu diametrul 3,8 cm și lungimea de 32 cm.

Pentru a putea prinde ușor și repede benzile pe cei doi tamburi s-a fixat pe fiecare cîte o lamă elastică de oțel G. fig. 4, care pentru a putea strînge capătul benzii este fixată pe tamburi cu ajutorul a două arcuri elastice O și P.

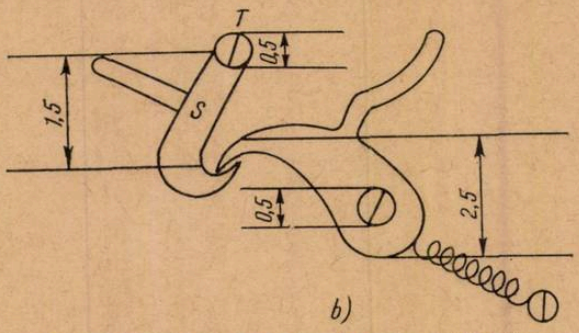
Tamburii sînt așezați într-un plan paralel cu capacul mașinii, aproape de acesta, la o distanță de 1 cm, calculată în așa fel ca la înfășurarea benzii pe suprafața lor, cînd diametrul acestora crește, hîrtia să nu frece capacul cutiei. Tamburul F — fig. 1 — este prevăzut cu o roată dințată cu diametrul AB de 2,8 cm. — fig. 5 — așezată pe axul lui, la 4 mm distanță de peretele lateral din partea dreaptă a cutiei.

Pe roata dințată se sprijină vîrful unei piedeci ce lucrează ca o pîrghie de genul I prinsă în punctul O (în jurul căruia se poate roti) paralel cu peretele lateral al cutiei. Pentru ca vîrful piedicii să stea în contact permanent cu roata dințată este apăsată pe acesta cu ajutorul unui arc elastic R, fixat la un capăt de peretele cutiei și la celălalt capăt de extremitatea ei. Rolul acestei piedeci este acela de a nu permite derularea inversă a hîrtiei de pe tambururi, atunci cînd mașina este destinată să lucreze ca aparat de examinat. După ce elevul scrie răspunsul său în geamul D, derulează bandă înainte cu ajutorul tamburului F pînă cînd răspunsul lui trece sub geamul C, unde nu-l mai poate influența, iar sub geamul A apare răspunsul de control al profesorului.

Elevul are posibilitatea să-și verifice răspunsul lui cu cel corect, privind pe diagonală în geamurile A și C, să trăiască imediat un moment de satisfacție sau să-și vadă greșeala și modul cum trebuie înlăturată în caz de insucces. Sistemul de blocare nu permite derularea benzii înapoi pentru o eventuală corectare a răspunsului. După ce elevul a răspuns

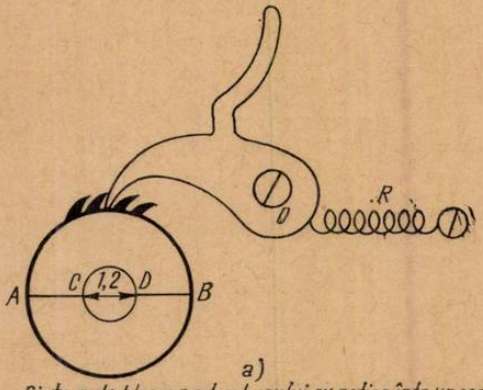
BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

la un număr de întrebări poate singur să-şi evalueze cunoştinţele cunoscînd convenţia de punctaj stabilită înainte, cu profesorul. Mijloacele oferite de maşină nu se substituie profesorului ci îl eliberează de o parte din munca obositoare de rutină — verificarea cunoştinţelor (care în prezent absoarbe pînă la 50% din timpul activ de muncă), recapitulare, examinare, etc., lăsîndu-i timp necesar pentru a acorda o asistenţă diferenţiată



b)

Sistem de deblocare a tamburului cu posibilităţi de derulare în ambele sensuri



a)

Sistem de blocare a tamburului cu rotire într-un sens

Fig. 5

elevilor. Aprecierea finală revine tot profesorului, care cîntăreşte toate informaţiile date de maşină şi nu transcrie automat punctajul acordat de ea.

Cînd vrem să folosim maşina ca instrument de învăţare, recapitulare, fixare, deblocăm tamburul cu ajutorul unei pîrghii S, de genul III (fig. 5b), care printr-o mişcare de rotaţie în jurul lui T ridică vîrful piedecii de pe roata dinţată.

În această situaţie elevul are posibilitatea să deruleze banda înapoi cu ajutorul butonului E, maşina fiind astfel adaptată să îndeplinească funcţia de instruire pentru un program tip Crowder sau ramificat.

Programele ramificate oferă posibilitatea alegerii şi a unor răspunsuri greşite şi deci necesitatea unor explicaţii noi şi apoi revenirea la vechea secvenţă.

Maşina mai este prevăzută şi cu o măsuţă făcută dintr-o scîndură plană care este prinsă de marginea superioară a cutiei [fig. 2 a] prin inter-

mediul a două șipci sau de baza cutiei prin două picioruşe. Ea serveşte ca suport pentru banda de răspuns a elevului, pentru a nu înțepa sau rupe hîrtia cu vîrful creionului. Măsuța este aşezată foarte aproape de geamuri, intervalul dintre ele fiind cu ceva mai mare decît grosimea hîrtiei.

Apreciem că maşina astfel construită realizează destul de complet sarcinile instrucției programate ca:

— aprecierea răspunsului elevului şi comparația cu răspunsul tip;

— controlul progresului, asigurînd trecerea la pasul următor numai dacă s-a dat un răspuns corect (ceea ce presupune funcția precedentă);

— în cazul programelor ramificate, adaptarea succesiunii secvențelor în funcție de răspunsul elevului;

— repetarea secvenței (pasului) dacă nu s-a primit la prima prezentare un răspuns corect;

— înregistrarea erorilor.

Din rîndul elevilor cercului s-a format o grupă care se instruieşte sub conducerea subsemnatului în tehnica programării liniare la cîteva obiecte printre care am ales fizica, gramatica limbii române şi matematica.

La cererea „Asociației Internaționale de cibernetică" publicăm următorul anunț:

AL VII—LEA CONGRES INTERNAȚIONAL DE CIBERNETICĂ

Asociația Internațională de Cibernetică organizează al 7-lea Congres Internațional de Cibernetică la Namur (Belgia) între 10 şi 15 septembrie 1973.

Acest Congres este deschis tuturor celor interesați de dezvoltarea şi aplicațiile acestui domeniu al ştiinței-Cibernetica.

Persoanele care doresc să participe la Congres sînt rugate să se adreseze Secretariatului Asociației Internaționale de Cibernetică, Palatul Expozițiilor, Piața Andre Rijchmans, Namur, Belgia. (Palais des Expositions, Place André Rijchmans, Namur Belgique).

Cei care doresc să prezinte comunicări sînt rugați să trimită Secretariatului, cît mai curînd posibil şi în orice caz înainte de 1.I.1973, titlul şi rezumatul comunicării pe care au intenția s-o prezinte.

Limbile oficiale ala Congresului vor fi engleza şi franceza.

I. P. „Informația" — c.1401

Index 43 459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

SERIA A
VOLUMUL IX

7

IULIE 1972
RFCABV 9(7) 241 – 280 (1972)

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI – 46 TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag.

Asist. *Valeria Petrescu*, șef lucrări *S. Petrescu*, București

1. Conceptul de polarizare 241

Asist. *Ion Căplănuș*, București

2. O descoperire veche cu aplicații moderne, efectul Hall 248

Asist. *Mihai Titu Dumitriu*, stud. *Ion Moise*, Craiova

3. Efectul Hall în semiconductori 254

Abs. *Tudor Pețan*, Oradea

4. Fenomene termice în placa Hall 264

Prof. *Ion Nistor*, *Huedin*

5. Aplicații ale efectului Hall 266

Pentru clasele speciale de fizică:

Stud. *Gheorghe Vass*, București

6. Elemente de dinamică relativistă 270

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, conf. univ.; **Teodor Bohățiel**, lector univ.; **Simion Bulgărea**. prof. **Maria Codreanu**, prof. ;**Andra Körner**, redactor; **Nicolae Martalogu**, conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ. ; **Alice Negoescu**, prof. **Ion C. Petrea**, conf. univ; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

Seria A

Anul IX Nr. 7 iulie 1972

CONCEPTUL DE POLARIZARE

Asist. univ. *VALERIA PETRESCU*,
şef lucrări *S. PETRESCU*, Inst. Politehnic Bucureşti

Sub denumirea de *polarizare* se înţelege totalitatea fenomenelor care fac ca la trecerea curentului, forţa electromotoare a unui element galvanic sau potenţialul unui electrod să difere de valoarea pe care o are la o intensitate de curent neglijabilă. Pentru a explica conţinutul noţiunii de polarizare este absolut necesar studiul fenomenelor ce au loc într-o celulă de electroliză atunci cînd curentul din circuit are o valoare finită, deoarece se constată că la diverse valori ale curentului, fenomenele de la electrozi şi din vecinătatea lui pot avea naturi cu totul diferite. Cu alte cuvinte, pot exista mai multe tipuri de polarizare, (înţelegînd prin polarizare, modificări ce au loc la electrod în sensul definiţiei de mai sus) care sînt funcţie de condiţiile diferite de trecere a curentului atunci cînd valoarea acestuia este mică sau ia valori din ce în ce mai mari. Există două tipuri de polarizare :

— polarizare care apare atunci cînd curentul are valori foarte mici, dar totuşi mai mari decît zero, aşa numitul curent rezidual. Ea are loc atunci cînd tensiunea exterioară aplicată celulei nu a depăşit tensiunea de descompunere (polarizare de electrod).

— polarizarea care apare la valori apreciabile ale curentului, adică atunci cînd se depăşeşte valoarea tensiunii de descompunere, atunci cînd începe desfăşurarea electrolizei. Funcţie de natura proceselor de la electrod care determină această polarizare, ea este la rîndul ei de două feluri : polarizarea electrochimică (supratensiune), şi polarizarea de concentraţie.

1. **Polarizarea de electrod** (la valori ale tensiunii exterioare mai mici decît tensiunea de descompunere) **Curent de schimb - Curent rezidual**

La suprafaţa unui electrod se desfăşoară reacţii chimice al căror mecanism este în general determinat de o serie de procese depinzînd de natura sistemului metal-soluţie şi de condiţiile externe impuse acestui sistem. Dacă se cufundă un electrod metalic în soluţia care conţine ioni de ai săi, în cazul absenţei curentului, se stabileşte între metal şi soluţie un echilibru. Dar acest echilibru nu e un echilibru static. El e un echilibru dinamic întrucît o cantitate de ioni din metal pot trece în soluţie lăsînd electroni liberi şi în acelaşi timp aceeaşi cantitate de ioni din soluţie se va descărca pe metal captînd electroni. Astfel, la echilibru, cînd curentul exterior măsurat e 0, între metal şi soluţie în ambele direcţii trece neîntrerupt un oarecare curent $\overleftarrow{i}$ şi $\overrightarrow{i}$:

$$\overleftarrow{i} = \overrightarrow{i} = i_s \qquad (1)$$

unde i_s — se numeşte curent de schimb.

Schimbul la potențialul ε_o se poate pune în evidență prin metoda indicatorilor radioactivi. Astfel dacă luăm un metal care conține o cantitate oarecare de izotopi radioactivi și se introduce în soluția unei sări de a lui, atunci peste cîtva timp se pot pune în evidență ioni radioactivi în soluția, care inițial nu conținea atomi marcați.

Mărimea — curent de schimb — este o mărime caracteristică electrochimică importantă a electrodului.

Mărimea curentului de schimb exprimă cantitatea de electricitate participantă în unitatea de timp ca rezultat al schimbului. Influența naturii electrodului se manifestă prin mărimea care caracterizează starea de echilibru a sistemului electrod-electrolit și anume prin valoarea potențialului de echilibru sau a potențialului de electrod ε_o.

Să presupunem că într-un electrolit oarecare sînt cufundați doi electrozi metalici identici, de exemplu două plăci de cupru într-o soluție apoasă de sulfat de cupru.

$$Cu/CuSO_4, H_2O/Cu$$

Pe electrozi apar curenți de schimb corespunzători vitezei de descărcare și de ionizare a ionilor de cupru. Un astfel de sistem însă nu creează o forță electromotoare diferită de zero; o forță electromotoare diferită de zero se obține numai în cazul cînd au fost cufundați în electrolit doi conductori de clasa întîi, diferiți. Să lăsăm însă să treacă curent prin soluția de sulfat de cupru cu electrozi de cupru, conectînd electrozii la o sursă exterioară. Atunci pe electrodul de cupru care servește drept catod se va depune cupru. Pe anod se va depune grupul SO_4; acest grup va reacționa cu apa, ceea ce va duce la formarea acidului sulfuric și la degajarea oxigenului la electrod.

Ca rezultat, simetria electrozilor va fi stricată: unul din ei va fi acoperit cu un strat mai gros de cupru, iar celălalt cu un strat de oxigen. Astfel electrozii cufundați în soluție nu vor fi identici și vor forma, deci, un element galvanic cu o forță electromotoare proprie, un așa numit element de polarizare. Modificarea electrozilor care apare în acest caz se numește *polarizare de electrod*, iar forța electromotoare care apare se numește *forța electromotoare de polarizare*.

Indepărtarea de la electrod a substanțelor care determină polarizarea se numește *depolarizare*. Intre cauzele depolarizării figurează aproape întotdeauna difuziunea, însă de multe ori intervin și reacții chimice.

In exemplul luat mai sus, la anod cuprul trece în soluție la un curent oarecare $\overleftarrow{i_i}$ (curent de ionizare), iar la catod procesul de descărcare a cationilor de cupru decurge la curentul de descărcare $\overrightarrow{i_d}$. Mărimea curentului de polarizare la catod va fi egală cu diferența dintre curentul de descărcare și ionizare, adică:

$$i_c = \overrightarrow{i_d} - \overleftarrow{i_i} \qquad (2)$$

Curentul polarizării anodice o să fie la rîndul său egal cu diferența dintre vitezele de ionizare și descărcare care sînt proporționale cu densitățile

$$i_a = \overleftarrow{i_i} - \overrightarrow{i_d} \qquad (3)$$

Deci la polarizarea electrozilor, echilibrul se strică şi numărul de ioni ce se formează în unitatea de timp nu mai este egal cu numărul celor care dispar. In cazul cînd $i_c = i_a = 0$, se observă uşor că $\vec{i_d} = \overleftarrow{i_i} = i_s$.

Curentul de schimb (i_s) ce apare ca rezultat al reacţiilor de formare şi descărcare a unor ioni metalici (de tipul Cu) atinge adesea valori mari.

Există însă electrozi inerţi (Pt, Pd, Au, etc.) care nu trimit ioni proprii în soluţie şi au din această cauză un curent de schimb foarte mic. Comportarea diferită a electrozilor şi neidentitatea polarizării lor se datoreşte mărimii curentului de schimb.

Polarizarea de electrod duce la stricarea echilibrului şi ca urmare a acestui fapt numărul şi caracterul ionilor ce se formează în unitatea de timp se va deosebi substanţial de cantitatea ionilor ce vor dispare în acelaşi interval de timp.

In cazul electrozilor inerţi cufundaţi în soluţie de H_2SO_4 şi NaOH, electroliza poate avea loc numai în cazul cînd tensiunea aplicată din afară va atinge o anumită mărime :

$$U_{t.d} = \varphi_a - \varphi_c \qquad (4)$$

unde : $U_{t.d}$ — tensiunea de descompunere a electrolitului ; φ_a şi φ_c potenţialul anodic respectiv catodic.

Mărimea tensiunii într-un sistem cu electrozi inerţi în momentul cînd pe aceşti electrozi (sau pe unul din ei) apar produşi gazoşi de electroliză se numeşte de obicei *tensiune de descompunere* ($U_{t.d}$). Tensiunea de descompunere se determină experimental prin ridicarea curbei curent/tensiune. Iniţial prin celulă trece un curent rezidual extrem de mic, iar la electrozi nu se observă o degajare vizibilă a produşilor de electroliză (hidrogenul şi oxigenul gazos). Mai departe după ce se ajunge la o anumită tensiune ce corespunde tensiunii de descompunere, curentul în celulă creşte rapid, iar la electrozi se observă degajare de gaz. Astfel un curent observabil va apare în sistem numai în cazul cînd tensiunea aplicată din afară va atinge valoarea diferenţei potenţialelor de separare a produşilor reacţiilor de electrod (4).

Se consideră că tensiunea de descompunere este acea tensiune minimă care trebuie aplicată din afară pentru ca prin sistemul electrochimic respectiv să înceapă să treacă un curent cu o intensitate suficient de mare.

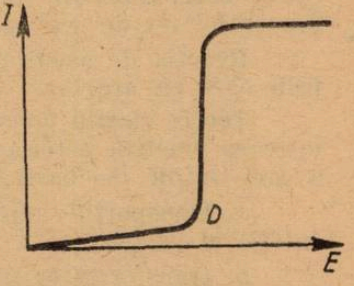


Fig. 1 Curba tensiune de descompunere (după Le Blanc).

Tensiunea de descompunere a fost observată prima dată de Helmohltz şi descrisă amănunţit de Le Blanc, care a şi introdus acest termen.

După Le Blanc, pînă la atingerea tensiunii de descompunere, curba curent/tensiune (pînă la punctul D în fig. 1) va fi situată în apropierea abscisei, ceea ce indică trecerea prin sistem a unor curenţi reziduali extrem de mici.

Curenţii reziduali în sistem se datorează diferitelor cauze, de exemplu, existenţa unor astfel de impurităţi în soluţie care pot reacţiona la electrozi la potenţiale mai mici decît potenţialele de separare a oxigenului şi hidrogenului.

In procesul de electroliză, la fiecare nouă creştere a tensiunii exterioare aplicate celulei, valoarea forţei electromotoare inverse ce apare ca urmare a acţiunii unui element hidrogen-oxigen, de asemenea o să crească, împiedicînd electroliza. Într-adevăr cu creşterea densităţii de curent cantitatea de gaze ce saturează electrozii creşte, dar ele nu pot să se adune într-o bulă de gaz ($p_{gaz} < 1$ atm) şi să iasă în atmosferă, iar solubilitatea lor în electrolit este limitată. Dacă presiunea gazelor pe electrozi ar rămîne neschimbată, atunci forţa electromotoare inversă a elementului gazos ce se formează ar împiedica complet trecerea curentului din afară. Totuşi datorită îndepărtării parţiale a gazelor de pe suprafaţa electrozilor din cauza difuziei şi dizolvării lor în electrolit, prin celulă va trece un curent foarte mic — curent rezidual — care e suficient pentru ca hidrogenul şi oxigenul degajat să compenseze pierderea de gaz. Numai în cazul cînd presiunea gazelor ce se formează la electrozi devine comparabilă cu presiunea atmosferică, creşterea mai departe a lui p_{H_2} şi p_{O_2} devine imposibilă, întrucît produşii reacţiilor la electrozi (gazele) o să se degaje în atmosferă. Deci, forţa electromotoare inversă a elementului hidrogen-oxigen atinge valoarea limită, funcţionarea elementului gazos deja nu mai poate împiedica decurgerea electrolizei, întrucît se ajunge la valoarea tensiunii de descompunere. O supratensiune însemnată la electrozii inerţi folosiţi în electroliză uşurează apariţia unui curent rezidual vizibil, întrucît pentru atingerea presiunii atmosferice trebuie cheltuită o tensiune mai mare.

Fenomenul descris mai sus, care constă în apariţia unei forţe electromotoare reversibile în cazul trecerii prin celulă a unui curent rezidual (fig. 1 pînă la punctul D) se numeşte polarizare de electrod ; ea se deosebeşte esenţial de celălalt tip de polarizare care apare pentru valori ale tensiunii exterioare mai mari decît valoarea tensiunii de descompunere (după punctul D).

2. Polarizarea electrochimică şi de concentraţie.

La creşterea tensiunii exterioare peste valoarea tensiunii de descompunere, începe electroliza cu o valoare a densităţii de curent din ce în ce mai mare. Odată cu creşterea densităţii de curent peste valoarea curentului rezidual se constată o abatere a potenţialului de electrod de la valoarea reversibilă din cauză că procesul de electrod sau una din etapele procesului nu decurg în condiţii reversibile.

Reacţia de electrod poate fi privită ca o serie de stadii succesive prin care ea are loc.

Teoria clasică consideră că cinetica reacţiilor electro-chimice ca şi întreaga cinetică heterogenă a reacţiilor chimice e determinată de viteza a trei stadii de bază :

a. transportul ionilor sau atomilor la suprafaţa electrodului din interiorul soluţiei ;

b. transformarea electrochimică propriu zisă ;

c. îndepărtarea produşilor finali de la suprafaţa electrodului.

Cauza polarizării electrochimice şi de concentraţie este existenţa diferenţelor de viteze între stadiile arătate.

Stadiul a cărui viteză este cea mai mică, determină viteza întregului proces.

Se pot imagina trei cazuri de legătură între natura polarizării rever sibile şi viteze unuia sau altuia din stadiile considerate a actului de electrod. Aceste cazuri la reacţiile catodice sînt :

— viteza transportului ionilor din volumul soluţiei la limita catod-electrolit e foarte mică, în timp ce procesul descărcării ionilor are loc destul de repede. Atunci, evident că pentru asigurarea unei viteze necesare întregului proces trebuie consumată o oarecare energie suplimentară pentru învingerea forţei electromotoare de concentraţie inverse, care apare în urma deplasării mai încete a ionilor din interiorul soluţiei către electrod (domeniul din dreapta liniei *bb* - fig. 2).

— transportul ionilor la catod se petrece repede, dar viteza descărcării e mică ; evident, că în acest caz polarizarea o să fie cauzată în principal de faptul că metalul sau un alt conductor de speţa I va transmite încetinit electronii particulelor reactante (domeniul din stînga liniei *aa* fig. 2).

— în cazul general, dacă se asigură densitatea de curent dată, e de aşteptat ca ambele stadii, amintite mai sus, ale desfăşurării procesului să aibă viteză limitată. Într-un asemenea caz este necesar să se consume energie pentru transportul particulelor ce se descarcă la electrod şi pentru asigurarea unei viteze suficiente pentru descărcarea lor. Dacă vitezele ambelor stadii sînt comparabile, atunci trebuie să se ţină cont de ambele procese de încetinire. Ele o să determine împreună polarizarea globală de electrod (domeniul între *aa* şi *bb*, fig. 2).

Ţinînd cont de acestea se poate face o clasificare a polarizării catodice şi anodice în funcţie de natura lor de apariţie ;

a. polarizare electrochimică (sau supratensiune) concentrată la limita de separare sau la suprafaţa electrodului şi cauzată de încetinirea actului de descărcare la electrod sau de unul din stadiile lui intermediare.

b. polarizarea de concentraţie care se datoreşte migraţiei încetinite, difuziei şi convecţiei ionilor participanţi la reacţia electrochimică de la suprafaţa electrodului (dacă procesul de electrod se reduce la dizolvarea metalului, atunci polarizarea de concentraţie se determină prin viteza de îndepărtare a produşilor de reacţie de la suprafaţa anodului).

Cînd în reacţie participă nu ioni ci moleculele substanţei, concentraţia la electrozi variază de asemenea. Moleculele însă nu sînt transportate prin intermediul curentului, ele se apropie de electrod nu sub influenţa cîmpului electric, ci sub influenţa forţelor osmotice datorate diferenţei de concentraţie, adică pe seama difuziei. În legătură cu cele arătate polarizarea de concentraţie este numită uneori de difuzie.

Alura curbei curent / tensiune (curba de polarizare) este determinată de procesele descrise mai sus. In fig. 2 este reprezentat un exemplu de curbă de polarizare catodică. Linia *aa* limitează domeniul cineticii electrochimice ; în acest domeniu e preponderentă polarizarea electrochimică. Linia *bb* limitează domeniul curat al cineticii de difuzie ; în acest domeniu este determinantă, pentru desfăşurarea procesului, polarizarea de concentraţie.

Între limitele *aa* şi *bb* se găseşte domeniul de suprapunere a efectelor celor două feluri de polarizări, domeniu în care viteza reacţiei propriu zise de electrod şi viteza difuziei au valori comparabile.

În domeniul polarizării de concentraţie, la creşterea tensiunii exterioare se constată o creştere din ce în ce mai lentă a densităţii de curent, ajungînd la un moment dat la un palier ; curba devine paralelă cu axa

absciselor. Acestea sînt condiţiile curentului limită. Numărul de ioni care pot să ajungă la electrod prin difuzie, în condiţiile curentului limită, este limitat, deşi se măreşte potenţialul; aceasta pentru că concentraţia ionilor lîngă electrod devine zero şi gradientul de concentraţie încetează să mai crească.

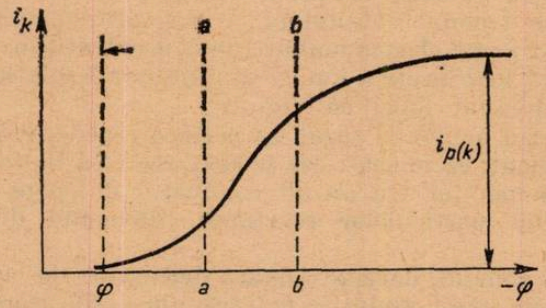


Fig. 2 Curba de polarizare catodică exprimată prin cinetica electrochimică şi de difuzie.

În manualele de electrochimie de pînă acum problema polarizării, a definiţiei şi clasificării ei este tratată ca mai sus.

3. Concepţia lui Klaus J. Vetter despre polarizare şi supratensiune.

Klaus J. Vetter aduce un nou punct de vedere în tratarea fenomenelor care se înglobează din punct de vedere clasic în termenul de polarizare. Spre deosebire de concepţia clasică cu privire la supratensiune care este mărimea polarizării electro-chimice, el generalizează conţinutul acestei noţiuni definind-o ca diferenţa între potenţialul electrodului la trecerea unui curent finit prin el şi potenţialul de echilibru al electrodului (în absenţa curentului) fără a o lega de natura procesului care o determină.

Vetter face distincţie pentru prima oară între noţiunea de polarizare şi supratensiune. El renunţă la noţiunea de polarizare pentru cazurile simple în care la electrod are loc o singură reacţie. Abaterea potenţialului electrodului ε de la valoarea potenţialului de echilibru ε_o, o denumeşte supratensiune (în cazul cînd are loc o singură reacţie de electrod). Dacă însă concomitent se desfăşoară mai multe reacţii de electrod se ajunge la formarea unui potenţial mixt (de amestec) ε_M, care diferă, în cazul absenţei curentului, de potenţialul de echilibru al reacţiilor participante. Prezenţa curentului cauzează şi aici o modificare a potenţialului $\varepsilon_{(i)}$ faţă de potenţialul în absenţa curentului $\varepsilon_{(o)} = \varepsilon_M$. Această modificare η_p, este polarizarea. Deci:

$$\eta_s = \varepsilon - \varepsilon_o \text{ — supratensiune}$$

$$\eta_p = \varepsilon_{(i)} - \varepsilon_{(o)} \text{ — polarizare}$$

Atît polarizarea cît şi supratensiunea sînt funcţii de densitatea de curent i. Cînd $\varepsilon_{(o)}$ e egal cu ε, polarizarea e aceeaşi cu supratensiunea.

După K.J. Vetter stadiile reacţiei de electrod sînt:

a) Transportul ionilor din soluţie spre suprafaţa electrodului prin difuzie, migrare sau agitare.

b) Transferul prin stratul dublu electric.

c) Adsorbția ionilor la suprafața electrodului și deshidratarea totală sau parțială.

d) Trecerea ionilor în stare stabilă prin mai multe procese secundare: — înglobarea ionilor metalici în rețea prin difuzie superficială, pierderea completă a apei și eventual neutralizare; — transformarea ionilor metalici și nemetalici prin reacții chimice secundare (reacții de complexare, redox, precipitare); — unirea radicalilor în molecule, desorbție, dizolvare sau degajarea moleculelor.

Corespunzător celor patru stadii ale procesului de electrod indicate de Vetter, există mai multe feluri de supratensiuni în funcție de stadiul cel mai lent al procesului de electrod:

a. supratensiune de difuzie; b. supratensiune de transfer; c. supratensiune de reacție; d. supratensiune de cristalizare.

Cînd două sau mai multe etape ale procesului de electrod se petrec cu viteză comparabilă, apar concomitent două sau mai multe supratensiuni. Supratensiunea de difuzie poate aparea alături de supratensiunea de reacție cînd viteza procesului de difuzie este comparabilă cu viteza reacțiilor chimice ce au loc la suprafața electrodului.

Cauza apariției supratensiunii este după cum am mai spus o frînare în desfășurarea reacției globale de electrod. În cazul general o reacție globală de electrod se compune dintr-o serie de reacții parțiale. Cel puțin una din aceste reacții parțiale constă într-un transfer a unor purtători de sarcină (electroni sau ioni) prin stratul dublu electric la suprafața de separație a fazei și de aceea se numește reacție de transfer. Viteza acestei reacții de transfer depinde de diferența de potențial din stratul dublu. O „reacție chimică" este o reacție parțială a cărei viteză nu depinde de potențial ci numai de concentrație.

La potențialele produse de ioni metalici mai apare încă o reacție parțială. Aici mai are loc o încorporare a atomilor de fază lichidă care trec pe electrod, prin reacția de transfer, în rețeaua cristalină a acestuia. Acest proces este o reacție de cristalizare

La aceste tipuri de reacții parțiale se mai adaugă un fenomen de transport care constă în transportul substanțelor care s-au format respectiv s-au consumat către suprafața de electrod sau de la suprafața de electrod. Acest transport de substanță care e indispensabil în decurgerea unei reacții de electrod trebuie să se producă prin difuzie de la suprafață respectiv către suprafață, deoarece numai în interiorul masei de electrolit există o cantitate suficientă de substanță care se transformă pe baza legilor lui Faraday. De aceea de la suprafață trebuie să apară un gradient de concentrație sau mai precis un gradient de activitate.

Dacă este frînată numai reacția de transfer, celelalte reacții parțiale decurgînd neperturbat, apare o supratensiune de transfer η_t, deoarece trecerea purtătorilor de sarcină e împiedicată de stratul dublu electric.

Dacă e frînată o reacție chimică parțială a cărei constantă de viteză potrivit definiției e independentă de potențial, atunci la trecerea curentului avem o supratensiune de reacție.

Dacă transportul de materie spre suprafață sau de la suprafață se petrece foarte încet, atunci în prezența curentului va apare o supratensiune de difuzie.

Frînarea înglobării în rețeaua cristalină a atomilor adsorbiți sau frînarea scoaterii lor din rețea duce la o supratensiune de cristalizare.

Termenul clasic de „polarizare de concentrație", corespunde în noua terminologie termenului „supratensiune de difuzie".

Sensul noțiunii supratensiunii de concentrație a devenit mai larg, ea referindu-se la toate felurile de modificări de concentrație la electrod. Or, modificări de concentrație la electrod sînt provocate și de frînări ale reacției chimice. Deci supratensiunea de concentrație este suma formată din supratensiunea de difuzie și cea de reacție.

BIBLIOGRAFIE

1. *I.A. Atanasiu* : Manual de Electrochimie Generală 1963
2. *G.Kortom* și *J.O. Bockris* : Textbook of Electrochemistry 1951
3. *S. Glasstone* : An Introduction to Electrochemistry 1962
4. *K.J. Vetter* : Electrochemishe Kinetic 1961

O DESCOPERIRE VECHE CU APLICAȚII MODERNE: EFECTUL HALL

Asistent *ION CĂPLĂNUȘ* Facultatea de Fizică, Universitatea București

Efectul Hall descoperit încă din 1879 nu și-a găsit aplicații practice decît mult mai tîrziu și anume odată cu descoperirea semiconductorilor, pentru că efectul Hall este mult mai puternic în semiconductori decît în conductori. Descoperirea lui corespunde unei perioade în care electricitatea încă nu domina lumea industrială. Pe atunci, concepțiile teoretice la modă în domeniul fizicii erau cele ale lui Maxwell, expuse în celebrul său „Tratat de electricitate și electromagnetism".

Încă din timpul ultimului an de studenție, E.H. Hall a fost intrigat de o afirmație citită în tratatul lui Maxwell, care i s-a părut a fi anormală și anume : „Forța mecanică care rezultă din aplicarea unui cîmp magnetic asupra unui conductor prin care trece un curent electric, se exercită nu asupra curentului electric, ci chiar asupra conductorului". (1)

Această afirmație era cu atît mai curioasă cu cît, în absența curentului, nu apărea nici o forță. De aceea, mai tîrziu, pe cînd lucra la Universitatea „John Hopkins" din Baltimore, Hall și-a propus să elucideze această problemă.

Colaborînd permanent cu profesorul Rowland de la aceeași Universitate și după multe încercări infructuoase, Hall a reușit să pună în evidență că, între cele două fețe ale unui strat subțire de aur depus pe sticlă, prin care trece un curent electric și care este situat într-un cîmp magnetic perpendicular pe strat, apare o tensiune electromotoare perpendiculară atît pe curent cît și pe cîmpul magnetic (2). Mai mult decît atît, el a constatat că această tensiune își schimbă semnul odată cu schimbarea sensului cîmpului magnetic.

Mecanismul fizic al efectului Hall. Considerăm o placă conductoare de grosime d mică și lățime b, parcursă de un curent electric de intensitate I, dirijat după axa ox și plasată într-un cîmp de inducție magnetică $\vec{B}$, omogen și invariabil, dirijat după axa oz.

În aceste condiţii, asupra electronilor liberi care se mişcă cu viteza medie $\vec{v}$, acţionează forţa Lorentz : $\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B}$. Sub acţiunea acestei forţe, electronii sînt deviaţi spre faţa laterală S_2 a plăcii, pe care o încarcă cu un surplus de sarcini negative. Faţa opusă, S_1 rămîne încărcată pozitiv.

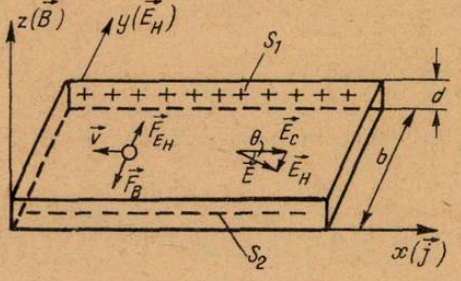


Fig. 1

Deci între cele două feţe se stabileşte un cîmp electric omogen $\vec{E}_H$, numit cîmp Hall, orientat dela S_1 la S_2, care exercită asupra electronilor forţa $\vec{F}_H = e\vec{E}_H$, opusă forţei Lorentz. Cînd cele două forţe se echilibrează, procesul de încărcare a feţelor laterale S_1 şi S_2 încetează.

Prin urmare, într-un conductor prin care trece un curent electric situat într-un cîmp de inducţie magnetică $\vec{B}$, perpendicular pe conductor, apare o tensiune electromotoare perpendiculară atît pe conductor cît şi pe cîmpul magnetic. În aceasta constă efetcul Hall. Pentru a calcula expresia acestei tensiuni, considerăm un electron de sarcină electrică e, masă m şi viteza $\vec{v}$. În condiţiile de mai sus, asupra electronului va acţiona o forţă :

$$\vec{F} = -e\left[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right] \qquad (I)$$

Cîmpul de inducţie magnetică $\vec{B}$ reducîndu-se la componenta sa $B_z = B$, iar cîmpul electric $\vec{E}$ avînd componenta $E_z = 0$, rezultă din (1) că ecuaţiile de mişcare pentru electron vor fi :

$$\begin{aligned} m\dot{v}_x &= -eE_x - eBv_y \\ m\dot{v}_x &= -eE_y + eBv_x \end{aligned} \qquad (2)$$

sau :

$$\dot{v}_x = -\frac{e}{m}\mathrm{E}_x - \omega v_y \qquad (3)$$

$$\dot{v}_y = -\frac{e}{m}E_y + \omega v_x$$

unde $\omega = \dfrac{eB}{m}$ este frecvenţa ciclotron şi E_y cîmpul electric Hall.

Sistemul de ecuaţii (3) se integrează imediat folosind variabila complexă $z = v_x + iv_y$; cu această variabilă sistemul devine :

$$\dot{z} - i\omega z = -\frac{e}{m}(E_x + iE_y) \qquad (4)$$

ecuație care integrată are soluția :

$$z = z_0 + \frac{e}{mi\omega}(E_x + iE_y)\ (1 - e^{i\omega t}) \tag{5}$$

Mediind pe z și luînd $\bar{z}_0 = 0$ se obține :

$$\bar{z} = v_x + iv_y = \frac{1}{\tau}\int_0^\infty z \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)dt = -\frac{e\tau}{m}(E_x + iE_y)\left(\frac{1}{1 - i\omega\tau}\right)$$

unde τ este timpul de relaxare pe care l-am presupus constant. De aici rezultă că :

$$v_x = -\frac{e}{m}\left(\frac{\tau E_x}{1 + \omega^2\tau^2} - \frac{\omega\tau^2 E_y}{1 + \omega^2\tau^2}\right)$$

$$v_y = -\frac{e}{m}\left(\frac{\tau E_y}{1 + \omega^2\tau^2)} + \frac{\omega\tau^2\ E_x}{1 + \omega^2\tau^2}\right) \tag{6}$$

Aceste relații pot fi aplicate la toți cei n electroni de conducție prezenți în unitatea de volum, presupunînd acum că $\vec{v}$ reprezintă viteza medie a ansamblului de electroni. Se știe însă (3) că densitatea de curent $\vec{j} = -ne\vec{v}$; rezultă deci :

$$j_x = \frac{ne^2}{m}\left(\frac{\tau E_x}{1 + \omega^2\tau^2} - \frac{\omega\tau^2\ E_y}{1 + \omega^2\tau^2}\right)$$

$$j_y = \frac{ne^2}{m}\left(\frac{\tau E_z}{1 + \omega^2\tau^2} + \frac{\omega\tau^2 E}{1 + \omega^2\tau^2}\right) \tag{7}$$

Cum $j_y = 0$, din relația a doua din (7) se obține :

$$\frac{E_y}{E_x} = -\omega\tau \tag{8}$$

Dar $\frac{E_y}{E_x} = \text{tg}\ \theta$, unde θ se numește unghi Hall. Deci efectul Hall mai poate fi interpretat ca o înclinare cu unghiul θ a liniilor echipotențiale, în raport cu liniile curentului.

Din (8) se obține $\frac{E_y}{E_x} = -\mu B$, unde $\mu = \frac{e\tau}{m}$ se numește mobilitatea electronilor. Prin urmare cîmpul electric Hall :

$$E_H = E_y = -\mu B E_x = -\mu B\frac{j_x}{ne\mu} = -\frac{1}{ne}j_x B \text{ deci :}$$

$$E_H = R\, j_x B \tag{9}$$

sau :

$$\vec{E}_H = R\vec{j} \times \vec{B} \tag{10}$$

unde :

$$R = -\frac{1}{ne} \tag{11}$$

se numește constantă Hall a materialului. Dar $j_x = \frac{I}{b \cdot d}$ și din (9) rezultă expresia tensiunii Hall:

$$U_H = R \cdot \frac{BI}{d} \tag{12}$$

Această expresie arată că, pentru un cîmp magnetic B dat, tensiunea Hall este mare la materiale cu constantă Hall mare, deci cu concentrația electronilor mică. De asemenea, curentul I trebuie să aibă valori admisibile cît mai ridicate, deci materiale cu conductibilități: $\sigma = ne\mu$ cît mai mari. Din relația (13) se obține că $\sigma R = \mu$, de unde rezultă că cele două cerințe contradictorii sînt satisfăcute de materiale care au n mic și μ mare.

În conductori purtătorii de sarcină sînt electronii liberi. În semiconductori constatna Hall devine:

$$R = \frac{p\mu_p^2 - n\mu_n^2}{e\ (n\mu_n + p\mu_p)^2}$$

Efectul Hall în semiconductori este mult mai puternic decît în conductori, deoarece concentrația purtătorilor de sarcină în semiconductori este de $10_6 - 10_9$ ori mai mică decît în conductori, iar mobilitatea lor în semiconductori este de sute sau chiar de mii de ori mai mare decît în conductori. Așa se explică și apariția numeroaselor aplicații tehnice ale efectului Hall odată cu descoperirea și studiul semiconductorilor.

Trebuie să arătăm că teoriile moderne, mult mai complexe /3/, /4/, /5/, țin cont de faptul că purtătorii de sarcină nu sînt perfect liberi, ci există interacțiuni între sarcini, care joacă un rol neneglijabil; de asemeni timpul de relaxare τ nu este constant ci este funcție de energie, de tipul de împrăștiere a purtătorului. Se obțin astfel rezultate care, numai formal sînt asemănătoare cu cele obținute presupunînd τ constant și purtătorii perfect liberi. De exemplu, mobilitatea electronilor are forma:

$$\mu_n = \frac{e}{m_n} < \tau >$$

unde m_n este masa efectivă a electronului, iar $<\tau>$ este un timp de relaxare mediu al electronului.

$$R = -\frac{r}{ne}$$

Aplicații tehnice ale efectului Hall. Cercetările pentru aplicarea efectului Hall inițiate în ultimii 15-20 de ani și continuate intens și în prezent au dus la numeroase soluții avantajoase pentru unele probleme tehnice. Prima aplicație tehnică a efectului Hall a fost determinarea cîmpului de inducție magnetică folosind o sondă din germaniu (6). Elementele care se folosesc în aplicațiile tehnice ale efectului Hall se numesc generatoare Hall sau sonde Hall; ele sînt traductoare care au ca mărimi de intrare curentul I, numit curent de comandă și cîmpul de inducție magnetică B, iar ca mărime de ieșire, tensiunea Hall - U_H.

Aplicațiile tehnice ale efectului Hall se pot clasifica în următoarele trei categorii :

I. *Aplicații care se bazează pe proprietatea tensiunii Hall de a fi proporțională cu cîmpul de inducție magnetică B, cînd curentul I este constant.*

În această categorie de aplicații intră, în primul rînd, determinarea cîmpurilor de inducție magnetică. În metodele folosite în acest scop, bazate pe fenomene de inducție electromagnetică, intervine derivata cîmpului de inducție magnetică în raport cu timpul. Avantajul evident al aparatelor cu efect Hall este că indicațiile lor nu sînt influențate de vitezele lor de deplasare, cum se întîmplă în sistemele electromagnetice clasice. Astfel se explică faptul că s-au putut imagina multe aplicații ale efectului Hall care intră în această categorie și anume :

— Construirea de instrumente pentru măsurarea cîmpurilor de inducție magnetică : magnetometre, gaussmetre /7/.

— Măsurarea cîmpurilor magnetice H ; măsurarea permeabilității magnetice /8/.

— Ridicarea experimentală a ciclului de histerezis /9/.

— Măsurarea grosimii straturilor subțiri neferomagnetice depuse pe suporturi feromagnetice /10/.

— Separarea galvanică în relee /11/.

— Semnalizarea fără contact /12/.

Dacă se menține curentul de comandă constant, prin intermediul tensiunii Hall se pot măsura mărimi electrice care, prin mijloace corespunzătoare, au fost făcute proporționale cu cîmpul de inducție magnetică. Așa se măsoară intensitățile curenților continui mari /13/.

II. *Aplicații care răspund proprietății tensiunii Hall de a fi proporțională cu curentul I, cînd cîmpul de inducție magnetică B este constant.*

Un generator Hall plasat într-un cîmp de inducție magnetică B constant este folosit în unele aplicații practice :

— Realizarea de multipoli nereciproci, giratori, circulatori /14/, /15/.

— Determinarea unghiurilor de defazaj între densitatea de curent $\vec{j}$ și cîmpul de inducție magnetică $\vec{B}$ /16/.

Aceste aplicații se bazează pe proprietatea cîmpului Hall de a putea fi exprimat printr-un produs vectorial (10).

III. *Aplicații în care se folosește proprietatea tensiunii Hall de a fi proporțională cu produsul IB (I variabil, B variabil).*

Dacă I și B sînt două mărimi de intrare simultan variabile, atunci tensiunea Hall, mărimea de ieșire, va fi proporțională cu produsul IB (12).

$$U_H = K'BI$$

Dacă notăm cu I_1 intensitatea curentului care dă naștere cîmpului de inducție magnetică B, acest curent I_1 va fi proporțional cu cîmpul de inducție B și deci :

$$U_H = K''I_1I$$

Cum intensitatea curentului de alimentare I este proporțională cu tensiunea U rezultă:

$$U_H = K'' I_1 \frac{U}{R}$$

sau:

$$U_x = K U I_1$$

Ultima relație arată că se pot construi wattmetre bazate pe efect Hall. Aceste wattmetre pot măsura puteri atît în rețele de curent continuu, cît și în rețele de curent alternativ (17), (18).

Există evident, multe alte aplicații ale efectului Hall (19), dar fiecare din ele face parte din una din cele trei categorii de mai sus.

Efectul Hall se folosește foarte mult și în fizica solidului; el stă la baza unor metode fundamentale de determinare a parametrilor caracteristici ai semiconductorilor.

Limitele utilizării generatorului Hall sînt determinate de sensibilitatea și precizia sa relativ redusă. Prin obținerea de noi materiale semiconductoare, care au o concentrație mică de purtători liberi, dar care au o conductibilitate mare și puțin dependentă de factori externi, precum și prin perfecționarea metodelor de eliminare a unor efecte perturbatoare, se va lărgi și mai mult domeniul de utilizare în tehnică a efectului Hall

În țara noastră, studiul și aplicațiile efectului Hall constituie o preocupare permanentă în unele institute de cercetare și instituții de învățămînt superior, iar primele dispozitive conținînd generatoare Hall au fost realizate în anul 1968 la F.E.A. din București și anume: elemente multiplicatoare - divizoare Hall, precum și debitmetre electromagnetice prevăzute cu un adaptor bazat pe efect Hall.

BIBLIOGRAFIE

(1). *Maxwell J. Clerk* „Traité d'Electricité et de Magnétisme" (Trad. din l. engleză după ediția a II-a), Paris 1885 — 1889 Vol. II p. 170
(2). *Hall E.H.* American Journal of Mathematics 2, 1879, p. 287
(3). *Smith R.A.* Semiconductors, Cambdridge, 1959
(4). *Constantinescu Cr., Glodeanu A.* „Stări locale în semiconductori" Editura Academiei, București, 1967, cap. V.
(5). *Anselm A.I.* Vvedenie v teoriu polupravodnicov, Moscova 1962
(6). *Pearson G.L., Suhl H.* Phys. Rev., 83, 1951, p. 768
(7). *Vasilievscaia D.P., Denisov I.N.* Priborî i tehn. exp. nr. 3, 1959, p. 144
(8). *Andreev V.S., Mazurov M.E.*, Prudnikov I.N. Izm. Tehn. nr. 7, 1961, p. 561.
(9). *Assmus F.* și *Boll R.* Elektrotech. Z.A. 77, nr. 8, 1956, p. 234
(10). *Andronescu Pl.* Bul. Științific și tehnic I.P.T. 7, nr. 1, p. 147
(11). *Bizet P.* Revue Générale de l'Electricité 76, nr. 4, 1967, p. 676
(12). *Carimentran G.* Revue Gén. de l'Electricité 76, nr. 4, 1967, p. 671
(13). *Kuhrt F., Maaz K.* Elektrotech. Z.A. 77, nr. 14, 1956, p. 487
(14). *Grubbs W.J.* Proc. Inst. Radio Engrs. 47, 1959, p. 528
(15). *Silverman D.H.* Electron. 36, 1963, p. 56
(16). *Frankel D. Wagner E.* A.T.M. RFG nr. 368, Sept. 1966, p. 152
(17). *Heler A.* „Contribuții teoretice și experimentale privind folosirea efectelor galvanometrice din materialele semiconductoare la măsurarea puterilor electrice". Teza de doctorat Timișoara, 1966.
(18). *Fränkel D.* „Contribuții la măsurarea puterii în rețele de curent alternativ cu generator Hall". Teză de dizertație 1964, Timișoara.
(19). *Fränkel D. De Sabata I.* Traductorul Hall. Editura tehnică Colecția Automatică, București, 1968.

EFECTUL HALL ÎN SEMICONDUCTORI

Asistent *MIHAI TITU DUMITRIU*, Catedra de fizică,
ION MOISE, an III, Facultatea de Fizică-Chimie, Universitatea din Craiova.

I. Studiul fenomenelor galvanomagnetice în semiconductori prezintă un deosebit interes atît în legătură cu dezvoltarea cunoştinţelor asupra proprietăţilor fizice fundamentale ale materialelor semiconductoare, cît şi cu realizarea de dispozitive de largă utilizare practică. Dintre fenomenele galvanomagnetice, efectul Hall s-a dovedit a fi de o deosebită importanţă practică atît în cercetarea ştiinţifică fundamentală cît şi în aplicaţii tehnice curente. Sondele Hall au determinat revoluţii în tehnica măsurătorilor electrice şi magnetice, iar în laboratoarele de cercetări fundamentale, tehnicile care se bazează pe măsurarea efectului Hall sînt fie mai simple decît altele, fie de neînlocuit.

Efectul Hall a fost descoperit în 1879 de către E.H. Hall şi dacă este studiat în special în legătură cu materialele semiconductoare, aceasta se datoreşte faptului că la metale, ca urmare a mobilităţii mici a purtătorilor de sarcină (a electronilor, deci) tensiunea Hall este foarte mică şi deci nu poate fi utilizată practic.

Pentru a putea face aprecieri cantitative este necesar ca în prealabil să fie făcute consideraţii asupra conductibilităţii electrice în semiconductori.

II. Să considerăm edificiul cristalin al unui solid. În nodurile reţelei cristaline se găsesc atomii elementului respectiv, sau, dacă este vorba despre o substanţă compusă, se găsesc dispuşi alternativ atomii elementelor componente. Conductorii, în marea lor majoritate metale, realizează legătura chimică colectivizîndu-şi electronii de valenţă, care devin liberi, alcătuind un gaz electronic (în accepţiunea teoriei cinetice moleculare) care „scaldă" reţeaua de ioni pozitivi.

Proprietăţi semiconductoare au elementele din grupa a IV a sistemului periodic, precum şi o serie de compuşi. La elementele menţionate, legătura chimică este covalentă, fiecare dintre electronii de valenţă aparţinînd în mod egal la doi atomi vecini. În cadrul unui atom, legătura este simetrică. În această situaţie, nu există electroni liberi pentru conducţie. O reprezentare plană intuitivă ar fi constituită de o plasă cu ochiuri patrate, întinsă. Asupra fiecărui nod se exercită forţe egale, care stabilesc un echilibru, corespunzător echilibrării forţelor ce se exercită asupra fiecărui electron de valenţă. Pentru obţinerea unui electron liber este necesar ca, undeva, în această plasă, să se facă o spărtură. „Spărtura" în reţeaua cristalină se realizează sau dînd energie unui electron pentru a se putea smulge din legături, sau stricînd echilibrul într-un „ochi al plasei" prin realizarea unui „defect" : introducerea unui atom cu valenţă diferită de patru, un defect de structură a reţelei constituit de lipsa unui atom („vacanţă"), etc. În cazul în care eliberarea electronului se face pe calea transmiterii de energie din afară, energia necesară se numeşte energie de activare şi pentru semiconductori ea are valori cuprinse între 0,2 şi 3 eV. La izolatori energia de activare este mai mare decît 3 eV, putînd atinge 10 eV. La metale, aşa cum s-a văzut mai înainte, electronii sînt liberi, prin urmare energia de activare este egală cu zero.

Tabloul descris prezintă o imagine intuitivă, care nu este riguros exactă. Aceasta deoarece fenomenele caracteristice stării solide de agregare a materiei nu pot fi explicate decît folosind raţionamente ce utili-

zează noţiunile şi aparatul de calcul specifice mecanicii cuantice. Simplificat, situaţia este următoarea: la constituirea unui solid din atomii constituienţi, din cauza interacţiei atomilor vecini, nivelele energetice se despică formînd domenii sau zone permise, separate de zone interzise. Pentru nivelele interioare, despicarea este neînsemnată, datorită ecranării produse de către stratele electronice complete aflate în exterior. Pentru nivelul de valenţă, despicarea poate atinge valori mari ale energiei (bineînţeles, la scară atomică). Simplist, apariţia zonelor energetice poate fi explicată astfel: considerăm atomii liberi, cu nivelele energetice discrete (fig. 1) şi încercăm să constituim edificiul cristalin al unui solid apropiind un număr de N atomi identici, aflaţi iniţial la distanţă mare unul de altul. La apropierea unui al doilea atom de primul,

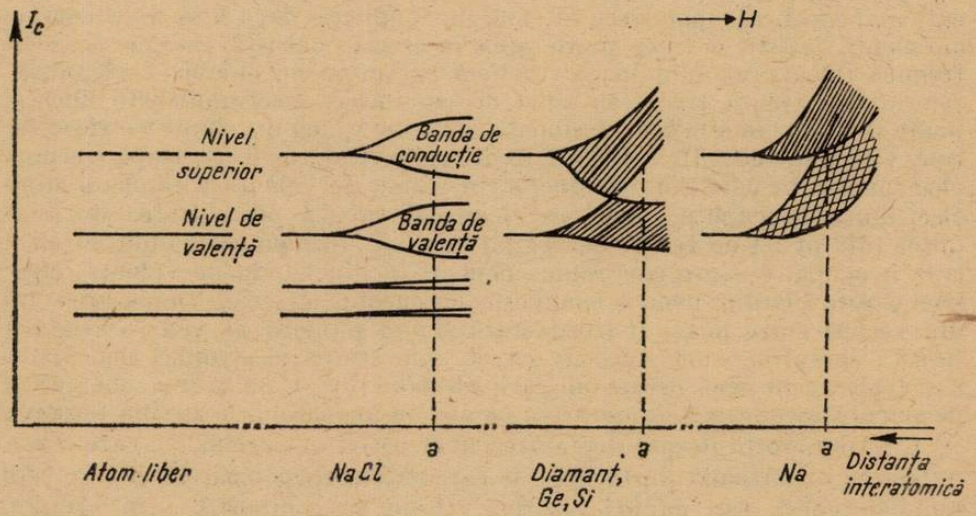


Fig. 1

datorită interacţiei dintre nuclee şi electroni, fiecărui nivel energetic permis al atomului de bază îi vor corespunde, conform legilor mecanicii cuantice, două, grupate în jurul valorii vechi şi separate printr-o anumită energie ΔE. La apropierea a N atomi identici, fiecare nivel se despică în N nivele echidistante, fiecare dintre nivelele astfel multiplicate fiind separat de o regiune în care nu există valori permise pentru energie. Despicarea începe să se producă la valori ale distanţei interatomice de ordinul de mărime al razei de acţiune. Distanţa dintre nivelele în care s-a despicat un nivel atomic discret este foarte mică ($\ll 10^{-20}$ eV), astfel că putem considera că zona este constituită dintr-un continuu de stări. Zona formată prin despicarea nivelelor energetice ale electronilor de valenţă se numeşte zonă de valenţă, iar aceea corespunzătoare nivelelor din primul înveliş superior, care pentru atomul dat corespunde stării de electron liber, se numeşte zonă de conducţie. Între acestea două se află zona interzisă sau „gap-ul" (în engleză: „energy gap"). Tendinţa de minimalizare a energiei potenţiale (la echilibru) face ca electronii să ocupe „locurile" permise situate în regiunea inferioară a fiecărei zone. Numărul „locurilor" permise în zonă este egal cu produsul dintre numărul de atomi care constituie cristalul, numărul de locuri permise pe nivelul care

a generat zona, în atomul liber, și factorul 2, determinat de degenerarea de spin (conform principiului lui Pauli, într-o stare energetică determinată se pot găsi doi electroni cu spini antiparaleli).

Clasificarea solidelor în conductori, izolatori și semiconductori este astfel justificată de lărgimea zonei interzise : la izolatori, lărgimea E_g a zonei interzise este cuprinsă între 3 și 10 eV, în timp ce la semiconductori ea este mai mică decît 2,5 ÷ 3 eV. La metale, avem de a face cu o suprapunere de benzi : la lărgirea nivelelor în benzi, din cauza distanței mici dintre nivelele discrete și a interacției puternice, banda de valență se suprapune peste cea de conducție, acoperindu-se astfel zona interzisă (fig. 1). Ca urmare, toți electronii de valență devin liberi, putînd participa la conducția curentului electric (legătura chimică de tip metalic).

Comportarea electrică a semiconductorilor. Electronii din zona de valență, care sînt localizați, pot trece în zona de conducție dacă li se dă o energie suficientă pentru a trece peste zona interzisă. Această energie poate fi termică (încălzire), luminoasă (iradiere cu fotoni cu energie corespunzătoare), etc. Odată trecut în zona de conducție, electronul este liber și poate fi supus unei mișcări ordonate, dacă se aplică un cîmp electric exterior. Viteza medie astfel cîștigată se numește viteză de drift. După trecerea electronului în banda de conducție, în banda de valență a rămas o stare electronică neocupată, astfel că electronii capătă posibilitatea de a se mișca (din punct de vedere energetic) în zonă. În momentul cînd un electron a ocupat o stare electronică neocupată din banda de valență, electronul este pierdut pentru conducția curentului electric. Deplasarea lui din vechea stare poate fi considerată și din punctul de vedere al stării însăși : lucrurile s-au petrecut ca și cum starea electronică neocupată s-a deplasat în sens invers mișcării electronului. Cum starea energetică neocupată este legată de un atom ce are, în ansamblu, o sarcină pozitivă + 1, putem vorbi despre deplasarea unei astfel de sarcini, pe care o asimilăm cu o particulă purtătoare de sarcină electrică pozitivă și care este mobilă : golul (sau gaura) pozitivă. Golul se comportă, prin urmare, ca un fel de electron pozitiv. Astfel, purtătorii curentului electric în semiconductori sînt electronii în banda de conducție și golurile pozitive în banda de valență.

La aplicarea unui cîmp electric, un electron dintr-un atom vecin unui gol va fi captat și va reface legătura. Prezența cîmpului face ca probabilitatea de ocupare (care în lipsa cîmpului este izotropă) să fie mai mare pentru acei electroni pentru care mișcarea spre locul gol se face cu consum de energie din partea cîmpului. Deoarece deplasarea electronului crează un gol, prin ocuparea altuia lucrurile se petrec ca și cum cel care s-a deplasat ar fi însuși golul. Astfel, în banda de valență, golurile se deplasează în sensul cîmpului, în timp ce electronii în banda de conducție se deplasează în sens invers. Curentul total va fi suma celor doi curenți și va avea mărimea egală cu suma mărimilor lor, aceasta avînd în vedere faptul că se transportă sarcini opuse în sensuri contrare.

Masa efectivă. În mișcarea lor în cristal, purtătorii de sarcină sînt supuși nu numai acțiunii cîmpului electric aplicat semiconductorului, ci și altor factori, cum ar fi : interacția cu oscilațiile rețelei cristaline, cu defectele de diferite tipuri ale acesteia, etc. Pentru a se ține seamă de toate acestea se definește o masă a purtătorilor zisă masă efectivă, care înlocuiește în

calcule masa electronului. Masa efectivă poate fi definită simplist prin relația :

$$\frac{1}{m^*} = \frac{d^2W}{d^2p} \tag{1}$$

unde : W și p sînt, respectiv, energia și impulsul purtătorului.
Masa efectivă se notează cu m_n, m_p, respectiv, pentru electroni și goluri (se mai utilizează și notațiile : m_n^*, m_p^* sau m_e și, respectiv, m_h). Prin urmare, valoarea masei efective a unui tip de purtători din cristal poartă amprenta interacțiilor din cristal. În general, masa efectivă a electronilor este mai mică decît aceea a golurilor.

Dacă electronii și golurile dintr-un semiconductor au fost obținuți prin trecerea electronilor din banda de valență în cea de conducție, numărul celor două tipuri de purtători va fi același. Un semiconductor de acest tip se numește intrinsec, deoarece proprietățile lui electrice sînt determinate de structura de benzi (de distanța dintre extremele benzilor de conducție și valență) deci de proprietățile cristalului însuși.

Prezența atomilor străini, a dislocațiilor, a defectelor rețelei cristaline în general, introduce interacțiuni suplimentare, cîmpul produs putînd atrage un electron care să se localizeze în vecinătate. Acest electron are energia situată în zona interzisă, astfel că în acest caz, în zona interzisă apar nivele locale permise. Electronii (sau golurile) de pe nivele locale nu pot participa la conducție. Dacă li se transmite însă energie suficientă pentru a a ajunge în banda de conducție (respectiv, valență) ei pot participa la transportul curentului electric. Este evident că energia necesară unui purtător pentru a trece de pe un nivel local, într-una dintre benzile permise, este mai mică decît energia necesară tranziției electronului din banda de valență în banda de conducție. Schema energetică a acestor procese este prezentată în fig. 2. După cum cedează electroni sau acceptă electroni pentru a produce goluri, nivelele se numesc, donoare și respectiv acceptoare. Semiconductorii la care purtătorii (electroni și goluri) provin

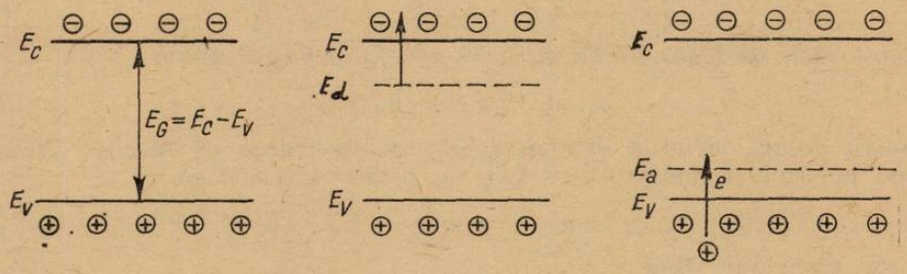


Fig. 2

în majoritate de pe nivele locale se zic extrinseci în sensul că proprietățile lor sînt determinate de defectele rețelei (impurități) și nu de caracteristicile semiconductorului însuși (lărgimea benzii interzise). La temperaturi înalte, cînd impuritățile sînt ionizate (și deci nu mai pot contribui la creșterea numărului de purtători liberi în benzi) semiconductorul devine intrinsec, în sensul că sporirea numărului de purtători liberi în benzi este determinată de lărgimea benzii interzise, iar impuritățile se zic epuizate.

Prezența impurităților provoacă mari modificări ale conductibilității electrice a unui semiconductor. Prin impurificare controlată a unui semiconductor de puritate spectroscopică ($\sim 10^{-5}\%$) se pot obține proprietăți eletrice și optice care pot fi variate în limite largi prin alegerea corespunzătoare a tipului de impurități și a gradului de dopare. Prin aceasta, se acționează asupra numărului de purtători liberi din unitatea de volum a materialului. Starea de lucruri descrisă nu este întîlnită la metale, unde electronii sînt toți liberi și nu pot fi obținute variații apreciabile ale densității de purtători. Posibilitățile imense de utilizare a materialelor semiconductoare provin tocmai din această mare maleabilitate a proprietăților lor față de factori externi ușor de manevrat.

În cazul concentrațiilor mari de impurități, datorită interacției atomilor de impurități, nivelele locale se pot despica, formîndu-se benzi permise în interiorul benzii interzise a semiconductorului. În unele cazuri, la valori ale concentrațiilor care depind de la situație, la situație, benzile de impurități se pot racorda la una dintre benzile permise, îngustîndu-se în felul acesta banda interzisă a semiconductorului.

Conductibilitatea electrică. În cristal, electronii pot trece de la un atom la altul, ca în vid. Accelerarea nu este însă infinită datorită faptului că energia este pierdută în urma interacției purtătorilor cu oscilațiile rețelei cristaline, cu impuritățile, cu dislocațiile, etc.. Ca urmare, rezultă o viteză medie, care se numește viteză de drift, viteză care este proporțională cu cîmpul aplicat :

$$v = -\mu_n E \tag{2}$$

Factorul de proporționalitate, μ_n se numește mobilitate a electronului și este puternic influențat de temperatură, de tipul cristalului, de împrăștierea purtătorilor care predomină. Densitatea curentului care ia naștere prin deplasarea unui electron este :

$$j_n = -ev \tag{3}$$

iar dacă participă n electroni în fiecare unitate de volum a semiconductorului :

$$j_n = -n \cdot e \cdot v = n \cdot e \cdot \mu_n \cdot E \tag{4}$$

Ținînd cont de legea lui Ohm, $j_n = \sigma_n \cdot E$, și cu (4) avem :

$$\sigma_n = n \cdot e \cdot \mu_n \tag{5}$$

Pentru goluri, situația este analogă, cu precizarea că sarcina golului fiind pozitivă, mobilitatea va fi și ea pozitivă, astfel că :

$$j_p = p \cdot e \cdot v = p \cdot e \cdot \mu_p \cdot E \tag{6}$$

și cu legea lui Ohm :

$$\sigma_p = p \cdot e \cdot \mu_p \tag{7}$$

Curentul total care ia naștere în semiconductor va fi suma dintre curentul de electroni, j_n, și cel de goluri, j_p, adică :

$$j = j_n + j_p = e(n\mu_n + p\mu_p) \cdot E \tag{8}$$

iar conductibilitatea electrică a semiconductorului :

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = e(n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p) \tag{9}$$

Un semiconductor care realizează conducţia curentului electric în special[1] prin electroni se zice că este de tip **n**; electronii sînt purtătorii majoritari, iar golurile, purtătorii minoritari. În cazul în care conducţia se realizează în special prin goluri, semiconductorul se zice de tip **p**, golurile fiind deci purtătorii majoritari. În cazul semiconductorilor la care numărul electronilor liberi este comparabil cu cel al golurilor libere, semiconductorul se zice compensat, iar conductibilitatea lui se zice mixtă.

În cazul în care pe lîngă cîmpul electric, asupra semiconductorului este aplicat şi un cîmp magnetic, apar o serie de fenomene ce se numesc galvanomagnetice, dintre care reţinem magneto-rezistenţa şi efectul Hall.

Efectul magneto-rezistiv constă în apariţia unei variaţii a rezistenţei electrice a unui semiconductor aflat în cîmp magnetic. Efectul este influenţat de direcţia cîmpului magnetic. Din măsurarea variaţiei rezistenţei electrice în cîmp magnetic se pot obţine informaţii asupra masei efective a purtătorilor în semiconductorul respectiv, asupra mecanismelor de împrăştiere a purtătorilor, asupra structurii energetice a semiconductorului.

Efectul Hall. Considerăm o plăcuţă semiconductoare de formă paralelipipedică şi presupunem că am aplicat de-a-lungul direcţiei x un cîmp electric, $\vec{E}$, iar de-a lungul lui y un cîmp magnetic, $\vec{H}$, (fig. 3).

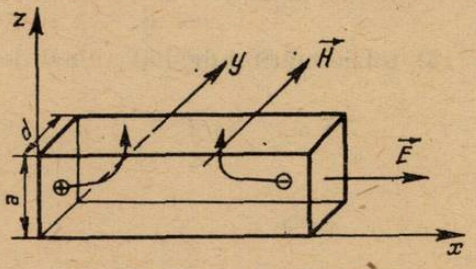


Fig. 3 Schema efectului Hall.

Sub acţiunea cîmpului electric, purtătorii sînt acceleraţi. Dacă presupunem că semiconductorul este de tip **n**, curentul rezultat va fi:

$$\vec{j} = n \cdot e \cdot \mu_n \cdot \vec{E} = -n \cdot e \cdot \vec{v} \tag{10}$$

Asupra electronilor care se deplasează în placă sub acţiunea cîmpulu electric cu viteza de echilibru $\vec{v}$, acţionează forţa Lorentz determinată de cîmpul magnetic constant $\vec{H}$:

$$\vec{F}_L = -\vec{v} \times \vec{H} \tag{11}$$

Forţa Lorentz este dirijată de-a-lungul axei **Oz** şi va determina o acumulare a electronilor pe faţa superioară a plăcuţei, în comparaţie cu faţa inferioară. Acumularea se face pînă cînd, cîmpul electric al sarcinii acumulate va fi atît de intens încît să acţioneze asupra electronilor ce vin pentru a spori sarcina spaţială (sub acţiunea forţei Lorentz) cu o forţă egală şi de semn contrar forţei Lorentz. La echilibru:

$$\vec{F}_E + \vec{F}_L = 0 \tag{12}$$

sau

$$-e \cdot \vec{E} = -e(\vec{v} \times \vec{H}) \tag{13}$$

Cîmpul electric care apare pe direcția perpendiculară pe planul determinat de vectorii $\vec{v}$ și $\vec{H}$ este cîmpul Hall. În (13) l-am notat cu $\vec{E}$. În cele ce urmează îl vom nota cu $\vec{E}_H$, iar tensiunea corespunzătoare cu U_H.

Ținînd cont de direcțiile vectorilor $\vec{v}$ și $\vec{H}$, cîmpul Hall este dirijat după direcția axei **Oz**, astfel că avem :

$$e \cdot E_H = e \cdot v \cdot H \tag{14}$$

Cu (10) :

$$E_H = -\frac{j}{ne} H \tag{15}$$

Tensiunea Hall corespunzătoare cîmpului E_H va fi :

$$U_H = E_H a = -\frac{1}{ne} \cdot j \cdot a \cdot H$$

Dar $j\ (a \,.\, d) = I$, curentul care străbate proba, astfel că tensiunea Hall devine :

$$U_H = -\frac{I}{ne} \cdot \frac{H}{d} \tag{16}$$

și observînd că în (16), unele mărimi depind numai de material, obținem :

$$U_H = R_H \cdot I \cdot H \frac{1}{d} \tag{17}$$

unde am notat :

$$R_H = -\frac{1}{n \cdot e} \tag{18}$$

Mărimea R_H este o constantă de material și se numește „constantă Hall" pentru materialul cercetat.

Din (17) rezultă că pentru o anumită probă, tensiunea Hall este proporțională cu curentul care străbate proba și cu cîmpul aplicat.

În cazul unui semiconductor de tip **p**, un raționament similar conduce la relația :

$$U_H = R_H \cdot I \cdot H \frac{1}{d} \tag{19}$$

cu constanta Hall de forma :

$$R_H = \frac{1}{p \cdot e} \tag{20}$$

Din (18) și (20) se vede că în cazul materialului de tip **n** constanta Hall este negativă, în timp ce pentru materialul de tip **p** ea este pozitivă. Cu alte cuvinte, constanta Hall are același semn ca și purtătorii de sarcină. De altfel semnul pozitiv al constantei Hall a constituit primul argument experimental al introducerii noțiunii de „gol pozitiv", ca purtător de sarcină.

În cazul semiconductorilor intrinseci, efectul apare în ciuda conducției ambipolare, datorită faptului că mobilitățile celor două tipuri de purtători sînt mult diferite : electronii avînd masa efectivă mai mică (de obicei, cel puțin cu un ordin de mărime), ajung înaintea golurilor și

astfel contribuțiile lor se însumează. În cazul semiconductorilor la care conductibilitatea se realizează în egală măsură prin electroni ca și prin goluri, coeficientul Hall are forma:

$$R_H = \frac{1}{e} \frac{p \cdot \mu_p^2 - n \cdot \mu_n^2}{(n\mu_n + p\mu_p)^2} \tag{21}$$

Pentru calculul lui (21) este necesară introducerea noțiunii de unghi Hall. Considerăm din nou situația din fig. 3. În absența cîmpului magnetic, cîmpul electric în plăcuța din figura are liniile paralele și longitudinale. La aplicarea cîmpului magnetic, acțiunea forței Lorentz determină apariția unei componente E_H, normală pe componenta inițială. Intensitatea cîmpului rezultant, E, este caracterizată de unghiul θ, fig. 4, dat de relația:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{E_y}{E_x} \tag{22}$$

Să estimăm valoarea unghiului Hall în cazul unui semiconductor de tip **n**. În acest caz avem:

$$E_y = E_H = v \,.\, H \tag{23}$$

iar

$$E_x = E = \frac{j}{n \cdot e \cdot \mu} \tag{24}$$

astfel că:

$$\operatorname{tg}\ \theta_n = \mu_n \cdot H = \theta_n \tag{25}$$

în cazul cîmpurilor magnetice mici, cînd putem aproxima tangenta cu unghiul.

Situația este similară în cazul unui semiconductor de tip **p**, cu deosebirea că unghiul Hall este de sens opus (fig. 4):

$$\operatorname{tg}\ \theta_p = \mu_p \,.\, H \tag{26}$$

iar pentru cîmpuri slabe: $\theta_p = \mu_p . H$ (26)

Conform schemei din fig. 4, componenta de pe axa **Oy** a curentului rezultant este:

$$j_y = -j_p \cdot \sin\theta_p + j_n \cdot \sin\theta_n \tag{27}$$

În ipoteza cîmpului slab putem scrie:

$$j_y = -j_p \cdot \theta_p + j_n \cdot \theta_n = j_p \cdot \mu_p \cdot H - \\ - j_n \cdot \mu_n \cdot H = pe\mu_p^2 E - ne\mu_p^2 \ E = eEH \\ (p\mu_p^2 - n\mu_n^2) \tag{28}$$

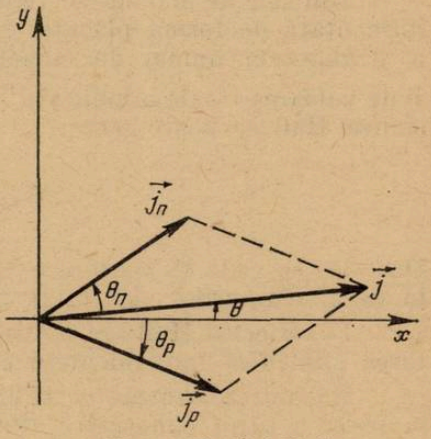


Fig. 4. Unghiul Hall

Analog avem și: $j_x = j_p \cdot \cos\theta_p + j_n \cdot \cos\theta_n$ (29)

Pentru cîmpuri magnetice slabe:

$$j_x = j_p + j_n = peE\mu_p + ne\ E\mu_n = eE(p\mu_p + n\mu_n) \tag{30}$$

astfel că avem :

$$\operatorname{tg}\theta = \theta = \frac{(p\mu_p^2 - n\mu_n^2)}{p\mu_p + n\mu_n} H \tag{31}$$

și cu (5) și (18) :

$$\theta = R \cdot \sigma \cdot H \tag{32}$$

prin urmare :

$$R = \frac{1}{e} \cdot \frac{(p\mu_p^2 - n\mu_n^2)}{(p\mu_p + n\mu_n)} \tag{33}$$

Pentru un semiconductor intrinsec ($n = p = n_i = p_i$) :

$$\theta = \frac{\mu_p^2 - \mu_n^2}{\mu_p + \mu_n} \tag{34}$$

iar cu (32) :

$$R = \frac{(\mu_p^2 - \mu_n^2)}{e(\mu_p + \mu_n)^2} \tag{35}$$

Cu o notație curent folosită : $\mu_n/\mu_p = b$, avem pentru semiconductorul intrinsec :

$$\theta = \frac{1 - b^2}{1 + b} \tag{36}$$

și

$$R = \frac{1}{n_i \cdot e} \cdot \frac{1 + b}{1 + b} \tag{37}$$

Din cele de mai sus se vede ușor că valoarea unghiului Hall nu este influențată de forma plăcuței semiconductoare și nici de curentul care o străbate ci numai de caracteristicile materialului (prin mobilitate) și de valoarea locală a inducției magnetice, $\vec{B}$. Folosind unghiul Hall, tensiunea Hall se poate scrie :

$$U_H = \frac{1}{d} I \cdot \operatorname{tg} \cdot \theta \tag{38}$$

Din (38) se vede că tensiunea Hall este proporțională cu tg θ respectiv în cazul cîmpurilor slabe, cu unghiul Hall.

IV. Efectul Hall are o deosebită importanță practică, atît în cercetarea științifică fundamentală cît și în tehnică.

Măsurarea constantei Hall permite calcularea unor constante de material a căror cunoaștere este esențială pentru caracterizarea proprietăților materialelor semiconductoare : concentrația purtătorilor de sarcină, mobilitatea acestora, precum și o serie de informații asupra structurii energetice a semiconductorului, cum ar fi lărgimea benzii interzise și poziția energetică a nivelelor de impurități. Pentru măsurarea constantei Hall se utilizează o probă din materialul de studiat șlefuită sub forma unui paralelipiped dreptunghic căruia i se aplică patru contacte ohmice

(neredresoare) - două pentru curentul ce străbate proba și două pentru culegerea tensiunii Hall - conform schemei din fig. 5a, iar măsurătorile se fac utilizînd un montaj ca cel din fig. 5b. La efectuarea măsurătorilor trebuie avută în vedere căderea de tensiune suplimentară datorată faptului că cele două contacte prin care se culege tensiunea Hall sînt, eventual, prost aliniate (linia care le unește nu este normală celei care le unește pe cele prin care se introduce curent în probă). Pentru aceasta se măsoară

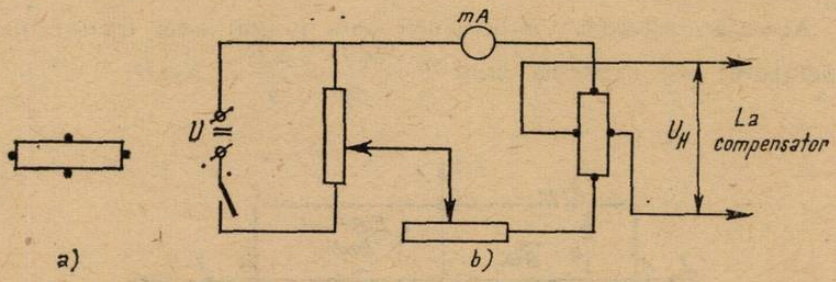


Fig. 5 *a* și *b*

tensiunea Hall odată cu un anumit sens al cîmpului de inducție magnetică (+) și odată cu cîmpul în sens opus (−). Valoarea corectă a tensiunii Hall va fi:

$$U_H = \frac{1}{2}\left(U_H(+) + U_H(-)\right) \tag{39}$$

O probă dintr-un material semiconductor pregătită pentru măsurarea efectului Hall se numește sondă Hall sau generator Hall. Această denumire este mai ales corelată cu utilizarea tehnică a efectului. Din expresiile pentru tensiunea Hall se observă că pentru o probă anumită (avînd un anume R și un anume d) tensiunea Hall măsurată este proporțională cu cîmpul magnetic aplicat și cu curentul ce străbate proba. Menținînd constant curentul prin probă și măsurînd tensiunea Hall se vede că putem ușor afla cîmpul magnetic în care a fost introdusă proba. Avînd în vedere că dimensiunile sondelor Hall pot fi extrem de mici (eventual submilimetrice) se înțelege ușor de ce măsurarea cîmpurilor magnetice cu sonde Hall a înlocuit rapid tehnicile clasice de măsură. Aparatele construite pe această bază (gaussmetre cu sondă Hall) permit măsurarea cîmpurilor magnetice cu mare precizie și în același timp în locuri greu accesibile (de exemplu în înfășurările mașinilor electrice rotative în mișcare, etc.).

O altă aplicație importantă a sondelor Hall în tehnica măsurărilor electrice și magnetice o constituie realizarea vattmetrelor cu sondă Hall. Funcționarea acestor aparate se bazează pe faptul că tensiunea Hall care ia naștere într-o sondă este proporțională cu curentul care străbate proba și cu cîmpul magnetic în care este introdusă. Astfel, dacă o sondă este introdusă între polii unui electromagnet care produce un cîmp magnetic proporțional cu tensiunea între două puncte ale unui circuit, iar prin sondă trece un curent egal cu cel din ramura respectivă a circuitului (chiar acest curent) tensiunea Hall rezultată va fi proporțională cu puterea (produsul dintre tensiunea și curentul din circuit) consumată în ramura respectivă de circuit.

FENOMENE TERMICE ÎN PLACA HALL

Absolvent *TUDOR PEȚAN*, Oradea

Alături de efectul Hall în semiconductorii aflați sub acțiunea simultană a unui cîmp electric și a unui cîmp magnetic apar și alte fenomene.

1) *Efectul Ettingshausen* - însoțește întotdeauna efectul Hall și constă în apariția unei diferențe de temperatură între cele două fețe ale plăcii.

Această creștere a temperaturii de-a lungul axei Oy (gradient de temperatură) are expresia grad $T = \frac{dT}{dy} = \frac{\Delta T}{b} = R_E jB$

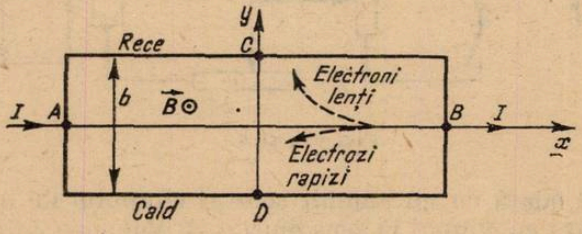


Fig. 1

Cunoscînd densitatea de curent în funcție de curentul total și dimensiunile plăcii, diferența de temeperatură între cele două fețe este :

$$\Delta T = R_E \frac{1}{h} IB$$

unde factorul de proporționalitate R_E se numește coeficient Ettingshausen. Cu alte cuvinte, pe lîngă tensiunea Hall între punctele C și D apare în caz general și o diferență de temperatură ΔT.

O motivare simplă a acestui efect se poate face ținînd cont de distribuția electronilor după viteză (fig. 3) : electronii mai rapizi vor fi deviați în sensul forței Lorentz spre una din fețele laterale, iar electronii mai lenți vor fi deviați în sens invers de către cîmpul Hall. Aceștia din urmă, avînd energia mai mică, fața laterală a plăcii spre care ei sînt deviați va deveni mai rece decît fața opusă spre care sînt deviați electronii rapizi, deci cu energia mai mare. Ca urmare a acestui transfer inegal de energie, între cele două fețe se stabilește o diferență de temperatură.

Cu toate că efectul Ettingshausen nu depășește fracțiuni de grad, el poate duce la erori în calculul tensiunii Hall astfel : contactele C și D nefiind din același material cu placa și aflîndu-se la temperaturi diferite, vor provoca o tensiune termoelectrică de contact — efect Seebeck — tensiune care se va suprapune peste tensiunea Hall :

$$U_{CD} = U_H + U_s$$

Ambele tensiuni depinzînd de aceleași mărimi este foarte dificilă separarea lor ; este util de reținut că stabilirea diferenței de temperatură în placă necesită un anumit timp (în cazul bismutului aproape un minut).

Efectul Ettingshausen nu se manifestă după cum rezultă din explicarea sa, în curent alternativ la frecvențe relativ mari.

Dacă placa aflată în cîmp magnetic nu este străbătută de un curent electric ci de un flux de căldură, au loc fenomene corespunzătoare efectelor Hall și Ettingshausen cunoscute în literatură sub numele de efectele Nernst și Righi-Leduc.

2) *Efectul Nernst* — constă în apariția într-o placă Hall străbătută de un flux de căldură și în prezența cîmpului mgnetic, a unui cîmp electric :

$$E_N = R_N B \frac{dT}{dx}$$

în care R_N se numește coeficient Nernst.

Explicarea fenomenului cu ajutorul teoriei cinetico-moleculare este următoarea : datorită stabilirii unei diferențe de temperatură de-a lungul plăcii, electronii vor difuza de la capătul mai cald spre capătul mai rece (fig. 4).

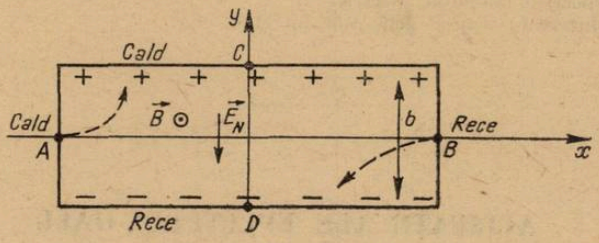


Fig. 2

Acest proces dă naștere unui efect termoelectric stabilindu-se o tensiune de difuzie care va compensa difuzia electronilor de o anumită viteză medie, dar cum nu toți electronii au aceeași viteză, ei vor fi deviați diferit de forța Lorentz : electronii care vin de la capătul mai cald, au viteze mai mari și vor fi deviați spre una din fețele laterale, iar electronii de la capătul mai rece, deci cu viteze mai mici, vor fi deviați invers. Această deviere diferită a electronilor spre cele două fețe laterale va face ca una dintre ele să fie mai negativă decît cealaltă. Cîmpul electric care se formează între cele două fețe laterale se numește cîmpul Nernst.

3) *Efectul Righi-Leduc* - dă naștere, în condițiile menționate la efectul Nernst, unei creșteri de temperatură orientat după axa **Oy**. Expresia acestei creșteri de temperatură este analogă cu cea a efectului Ettingshausen :

$$\frac{dT}{dy} = R_{R-L} B \frac{dT}{dx}$$

unde R_{R-L} este coeficientul Righi-Leduc.

Pentru a explica apariția gradientului de temperatură de-a lungul axei **Oy** continuăm raționamentul început la efectul Nernst. Distribuția inegală a energiei pe cele două fețe laterale este cauzată de vitezele diferite ale electronilor deviați. Această distribuție diferită va genera o diferență de temperatură corespunzătoare efectului Righi-Leduc. Ca să putem aprecia ordinul de mărime a efectelor studiate se poate calcula că unei tensiuni Hall de cîteva sute de mA (într-o placă de InSb) îi corespunde datorită efectului Ettingshausen o creștere de temperatură de cîteva miimi de grad. Pentru același cîmp magnetic, dar în lipsa curentului

electric, placa fiind străbătută de un flux de căldură corespunzător unui gradient de temperatură de 100°/m; tensiunea Nernst care se stabileşte este de ordinul 10^{-6}V, iar diferenţa de temperatură dintre feţe cauzată de efectul Righi-Leduc este de abia 10^{-7}°K.

Se poate constata că aceste efecte sînt mici, astfel că ele pot fi neglijate în mod obişnuit faţă de efectul Hall.

Importanţa teoretică şi practică a efectelor care apar în placa Hall este pe deplin evidenţiată de rapida şi larga dezvoltare a diferitelor sale aplicaţii în ultimile două decenii.

BIBLIOGRAFIE

Dobre S. : Studiul cîmpului electric în plăci Hall.
Sora C. : Asupra calculului unor mărimi referitoare la plăcile Hall dreptunghiulare plecînd de la spectrul cîmpului electric.
Sora C. : Introducere în studiul generatorului Hall.

APLICAŢII ALE EFECTULUI HALL

Prof. ION NISTOR, Huedin

Spre deosebire de metale care, deşi au conductivitate mare, au R_H mic, deci factor de mobilitate mic, materialele semiconductoare cu o mare mobilitate a purtătorilor de sarcină au o conductibilitate bună şi R_H mare. În practică, cel mai frecvent utilizate sînt aliajele intermetalice de tip indiu-arseniu (In-As) şi indiu-stibiu (In-Sb). Se mai folosesc şi germaniul, selenura şi telurura de mercur, etc. În ţara noastră au fost crescute policristale de In-Sb din materiale indigene în cadrul Centrului de cercetări metalurgice al Academiei R.S.R.

Materialele semiconductoare se folosesc sub formă de plăci paralelipipedice de lungime a, lăţime b şi grosime h foarte mică în comparaţie cu celelelalte dimensiuni. (fig. 1) Curentul de comandă este adus prin contactele de curent lipite pe feţele S_1 şi S_2, iar tensiunea Hall se culege, de regulă, prin contactele 3 şi 4 numite contacte Hall.

Ansamblul format din placa semiconductoare, contactele de curent şi cele de tensiune se numeşte sondă Hall, iar dispozitivul format dintr-o sondă Hall şi circuitul magnetic care produce cîmpul magnetic în care este plasată sonda se numeşte traductor Hall. (fig. 2).

Sonde şi traductoare Hall sînt realizate la scară industrială în R.F.G. S.U.A., Anglia, U.R.S.S., R.P. Polonă, etc., folosind de preferinţă ca materiale semiconductoare aliaje de In-Sb şi In-As.

O reprezentare simplă şi completă a traductorului Hall se poate realiza cu ajutorul simbolului dreptunghiular din fig. 3, unde contactele de aceeaşi parte a diagonalei au acelaşi semn al potenţialului. Cerculeţul din centru indică sensul inducţiei, aici dinspre planul figurii. De exemplu, dacă sensul curentului de comandă este de la contactul 1 la 2, deci $V_1 > V_2$ atunci şi $V_3 > V_4$.

Traductorul Hall este un traductor de mărimi electrice în mărimi electrice, deoarece stabileşte o legătură între curentul de comandă şi inducţia magnetică, ca mărimi electromagnetice de intrare,şi tensiunea Hall ca mărime electrică de ieşire. Dar, se poate realiza şi o dependenţă univocă între una din mărimile de intrare, de exemplu inducţie şi o

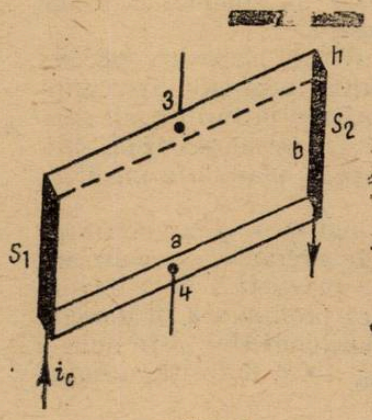


Fig. 1

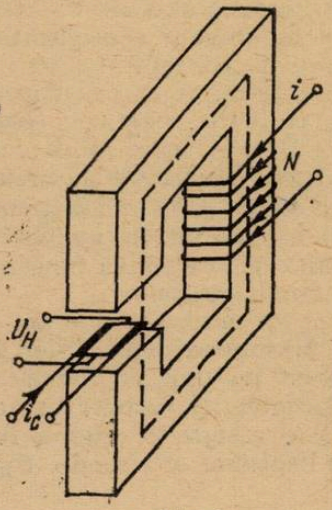


Fig. 2

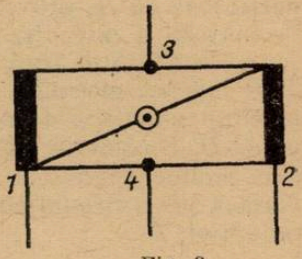


Fig. 3

mărime neelectrică, de exemplu o deplasare. Traductorul Hall devine astfel un traductor de mărimi neelectrice în mărimi electrice. Aplicaţiile traductorului Hall în tehnica măsurării sînt facilitate, între altele, şi de dimensiunile sale foarte mici (suprafaţă : $50-10\mu^2$; grosime : $20-2\mu$, rezistenţă mecanică bună, durată lungă de viaţă şi siguranţă mare în funcţionare, inerţie extrem de mică -10^{-12} s - şi putere de ieşire suficientă pentru a acţiona direct relee sensibile.

Menţionăm că efectul Hall este însoţit şi de un alt efect galvanomagnetic, numit efect magnetorezistiv sau efect Gauss — variaţia conductivităţii materialelor semiconductoare în funcţie de componenţa normală a inducţiei magnetice — care lărgeşte şi mai mult aria de aplicaţii a traductorului Hall în măsurători. Dintre acestea, cele mai răspîndite sînt aparatele pentru măsurarea inducţiei magnetice.

În principiu ,este vorba de o sondă Hall alimentată cu un curent de comandă continuu şi constant, plasată în cîmpul magnetic de studiat. Tensiunea Hall, fiind proporţională cu componenta normală pe sondă a inducţiei magnetice :

$$U_H = \frac{R_H}{h} i_c B_n = k B_n$$

reproduce la o altă scară variaţia în timp a lui B_n, care poate fi urmărită prin oscilografierea tensiunii Hall. Proporţionalitatea dintre valorile instantanee ale tensiunii U_H şi alte inducţiei B_n, face posibilă utilizarea efectului Hall în comanda unor sisteme de reglare automată în funcţie de valorile lui B_n, dimensiunile extrem de mici ale sondelor Hall permiţînd explorarea practic punctuală a cîmpului magnetic.

Folosirea unor concentratori pentru mărimea inducției magnetice locale sporește mult sensibilitatea gaussmetrelor Hall care pot măsura astfel inducții de ordinul a 10^{-9}T. Un concentrator este format în principiu, din două bastonașe cilindrice din material feromagnetic cu permeabilitate și inducție de saturație mare ($\mu_r = 100.000$, $B_s = 1{,}6$T) între care se stabilește un întrefier îngust, în care se plasează sonda și unde componenta inducției în direcția axei are valoarea din fier $B = a\mu_r B_0$, B_0 fiind valoarea inducției în absența concentratorului, (fig. 4). Se poate obține astfel o amplificare de zeci, sute și chiar mii de ori a inducției magnetice inițiale. S-a reușit astfel să se construiască un compas cu sondă Hall pentru măsurarea cîmpului magnetic terestru.

Cu ajutorul sondei Hall se poate ridica curba de histerezis, plasînd sonda într-un întrefier îngust, practicat în circuitul magnetic. Tensiunea Hall, proporțională cu inducția B se aplică la una din intrările unui osciloscop catodic, la cea de a doua intrare aplicîndu-se tensiunea Hall, proporțională cu H, provenită de la o sondă tangențială, plasată în imediata vecinătate a miezului feromagnetic.

Traductorul Hall poate servi, așa cum am mai spus, și la măsurarea unor mărimi mecanice. Măsurarea deplasărilor de exemplu, se realizează în cîmp magnetic constant în timp, cu inducția magnetică nulă într-un punct O, considerat ca origine, și variație liniară pronunțată în direcția axei polilor. Cînd sonda se găsește în origine, tensiunea Hall este nulă și variază proporțional cu deplsarea x a sondei $U_{Hx} = Cx$, datorită variației inducției B.

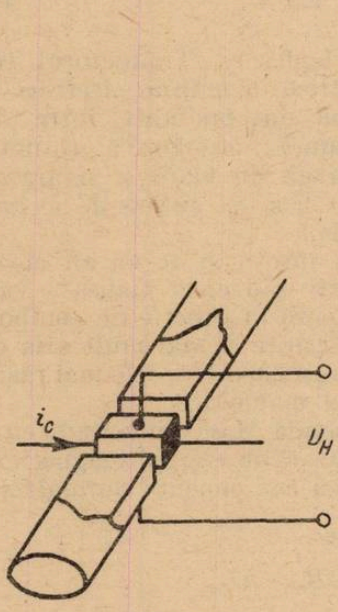


Fig. 4

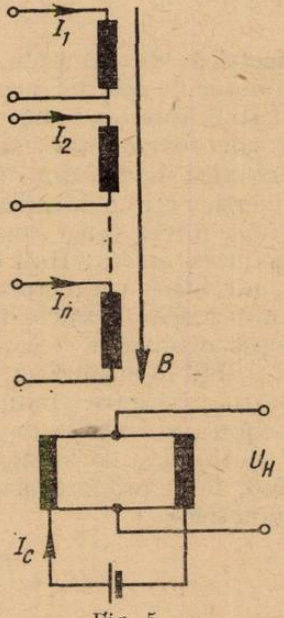


Fig. 5

În prezent, traductorul Hall își găsește un domeniu tot mai larg de aplicații în electronică și automatică. Posibilitatea înmulțirii cu traductorul Hall a două mărimi cu variație arbitrară în timp ($U_H = k\, i_c \times B_n$) permite folosirea lui ca modulator, divizor și multiplicator de frecvență detector și redresor, analizor armonic, amplificator, oscilator, defazor,

multiplicator, divizor şi generator de funcţii în calculatoare analogice, circuit logic şi în calculatoare numerice etc. Proporţionalitatea dintre tensiunea Hall şi inducţie, cînd i_c = const, stă la baza utilizării traductorului Hall drept cap de citire al înregistrăriior de pe benzi sau tambure magnetice. Capul de citire cu sondă Hall se remarcă prin simplitate are dimensiuni mici, ceea ce permite mărirea densităţii semnalelor înregistrate, şi redă fidel, fără distorsiuni, inducţia remanentă independent de viteza benzii, deoarece tensiunea Hall este proporţională cu inducţia remanentă independent de viteza benzii, deoarece tensiunea Hall este proporţională cu inducţia magnetică şi nu cu derivata ei în raport cu timpul.

Utilizarea traductorului Hall ca sumator în calculatoarele analogice este reprezentată în fig. 5.

O însumare algebrică simplă a semnalelor de curent continuu se poate realiza cu o singură sondă Hall plasată în întrefierul unui circuit magnetic cu caracteristică lineară şi cu un număr de înfăşurări identice, egal cu numărul semnalelor. Inducţia magnetică fiind proporţională cu suma algebrică a curenţilor din înfăşurări, $B = c \sum_{i=1}^{n} I_i$, tensiunea Hall va fi şi ea proporţională cu această sumă, atunci cînd curentul de comandă este continuu şi constant.

$$U_H = kI_c c \sum_{i=1}^{n} I_i$$

Traductorul Hall este un multiplicator, deci implicit un circuit şi tensiunea Hall există numai dacă atît curentul de comandă, cît şi inducţia magnetică sînt diferite de zero. Schema convertorului analog numeric cu traductor Hall se aseamănă cu cea a sumatorului din fig. 5, cu deosebirea că numărul spirelor diferă de la o înfăşurare la alta, înfăşurarea m avînd $2^m N$ spire. Dacă în rangul m cifra este 1, înfăşurării respective i se aplică un semnal de curent, acelaşi pentru oricare dintre înfăşurări, căruia îi va corespunde o valoare bine determinată a inducţiei şi deci a tensiunii Hall, alimentarea sondei făcîndu-se cu un curent i_c, constant. Fiecărui număr binar îi corespunde astfel o valoare discretă şi bine determinată a tensiunii Hall.

În automatică, protecţia prin relee oferă de asemenea un larg cîmp de aplicaţii pentru traductoarele Hall. În literatura de specialitate se vorbeşte pe larg despre releele de impedanţă şi releele direcţionale de putere ultrarapide.

Între aplicaţiile traductoarelor Hall mai amintim : micromotoarele de curent continuu fără colector, dispozitivele de măsurare automată fără contact a conductivităţii electroliţilor, stalibizatoare de curent, dispozitive de măsurare a grosimii straturilor neferomagnetice depuse pe suporturi feromagnetice, dispozitive pentru măsurarea puterii active, aparente sau reactive în circuitele de curent alternativ etc.

Primele dispozitive conţinînd sonde Hall au intrat în producţie în ţara noastră în urmă cu cîţiva ani la Fabrica de elemente pentru automatizări din Bucureşti. Fabrica produce debitmetre electromagnetice prevăzute cu un adaptor pe bază de efect Hall, precum şi elemente multiplicatoare-divizoare Hall.

Studiul folosirii traductorului Hall în tehnică constituie una din principalele probleme de cercetare ale catedrei de Bazele electrotehnicii de la Facultatea de Electrotehnică din Timişoara.

ELEMENTE DE DINAMICĂ RELATIVISTĂ

Student *VASS GHEORGHE*, Fac. de Fizică, Univ. București

1. Principiile teoriei relativității restrînse. Sistem inerțial. Concepte de bază.

Materia, spațiul și timpul sînt concepte primare ireductibile care constituie baza indispensabilă pentru reprezentarea universului fizic.

Mișcarea corpurilor — agregate materiale stabile, constituie problema centrală a mecanicii. In virtutea anumitor criterii ce permit simplificarea fenomenalității lumii complexe, mecanica recurge la punctul material fără a considera exclusivist elementaritatea unui corp. Un punct material este prin definiție înzestrat cu toată cantitatea de materie a agregatului (corp) a cărui structură a fost ignorată. O proprietate esențială a oricărei porțiuni de materie este aceea de a interacționa cu altă porțiune de materie.

Formularea legilor acestor fenomene presupune alegerea unui sistem de referință. În fizică, primul sistem dinamic survenit în ordine istorică și care descrie mișcarea unui corp material ca rezultat al interacției cu alte corpuri — a fost creat de Isaac Newton în 1686.

Se definește ca sistem inerțial cel în care este valabilă legea inerției (păstrarea stării de mișcare uniformă rectilinie sau de repaus a unui corp ce nu interacționează cu alte corpuri).

Mecanica clasică admite principiul relativității prin care toate legile naturii au formă invariantă în toate sistemele de referință inerțiale.

Ecuațiile de bază ale dinamicii newtoniene sînt în mod exact valabile într-un sistem de referință inerțial.

Transformările Galilei realizează, singurele, invarianța ecuațiilor lui Newton față de sistemele de referință; aceste transformări nu sînt însă singurele care realizează invarianța legii inerției.

Pe de altă parte, fenomenele electrodinamice descrise de ecuațiile Maxwell — de exemplu, nu sînt invariante la transformările galileene.

Cazul omogen al transformărilor liniare cele mai generale îl formează grupul de transformări Lorentz. Acestea se realizează între domenii cuadridimensionale spațiu-timp, din numitul spațiu Minkowski. În acest spațiu este valabil principiul relativității.

Principii de bază ale teoriei relativității sînt cel al constanței vitezei luminii rezultat din experiență și cel al existenței unei valori limită superioare c, a vitezelor în univers.

Schimbarea fundamentală a conceptelor asupra spațiului și timpului exprimate prin transformările Lorentz afectează profund întreaga fizică.

Amintim aceste două tipuri de transformări de coordonate între sistemele de referință - grupul Galilei și grupul Lorentz (vezi fig. 1):

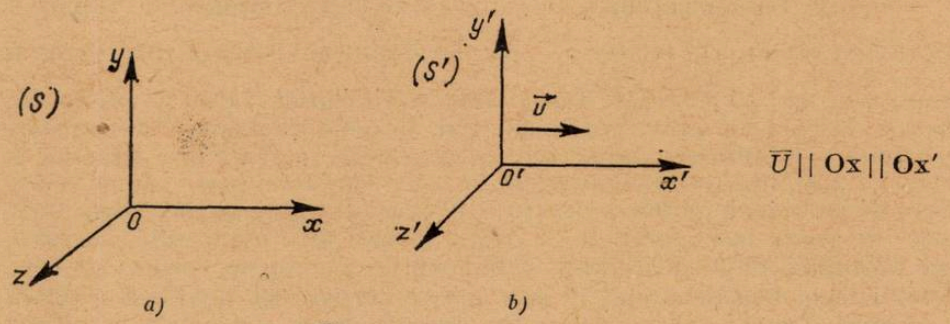


Fig. 1

$$(G)\quad \begin{cases} x' = x - ut \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases} \qquad (1a)$$

$$(L)\quad \begin{cases} x' = \dfrac{x - ut}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \dfrac{t - \dfrac{ux}{c^2}}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} \end{cases} \qquad (1b)$$

Trebuie să reexaminăm legile fizicii dezvoltate și confirmate pentru viteze mici ($v \ll c$) pentru a vedea dacă sînt compatibile cu teoria relativității. Nu vom fi surprinși găsind că legile se schimbă cînd sînt transferate în domenii noi. Legile se schimbă în așa fel ca pentru viteze mici să regăsim forma lor newtoniană conform principiului corespondenței teoriilor fizice. Am acceptat ca legi valabile pe acelea care rămîn identice în toate sistemele inerțiale; vom folosi pentru trecerea dintr-un sistem de referință în altul transformarea Lorentz (care se reduce la cea a lui Galilei pentru $\frac{v}{c} \to 0$, adică $v \ll c$).

Vom insista asupra invarianței legilor la o transfornmare Lorentz.

Doi observatori în sisteme de referință diferite S și S′ deduc legile fizice. Fiecare le exprimă în funcție de lungimi, durate, viteze, accelerații - măsurate în propriul sistem. Legile trebuie să fie identice în formă pentru variabilele din sistemul S și acelea din sistemul S′. Apoi cînd folosim transformarea Lorentz $S : (x,y,z,t) \to S' : (x',y',z',t')$, orice lege dedusă în S este translatată în termenii din S′ și trebuie să rămînă neschimbată în formă.

Legile dinamicii descriu mișcarea particulelor materiale dintr-un punct în altul. Accelerații, ciocniri, radioactivitate, dezintegrare radioactivă sînt exemple de fenomene a căror descriere implică coordonate atît spațiale cît și temporale.

2. Conservarea impulsului — cazul ciocnirilor. Legea variației masei cu viteza.

O lege fundamentală a mecanicii este legea impulsului. Impulsul era definit clasic prin relația $\vec{p} = m\vec{v}$, iar definiția clasică pentru variația impulsului era : $\Delta\vec{p} = m\Delta\vec{v}$. Dacă în mecanica clasică variația vitezei are aceeași valoare în orice sistem inerțial, în condiții relativiste afirmația își pierde valabilitatea, după cum rezultă din teorema de adunare a vitezelor stabilită de Einstein (vezi Nota 1). Din acest motiv nu se poate porni de la această definiție pentru a obține prin generalizări noua dinamică. Se poate însă porni de la legea conservării impulsului. Această lege afirmă că impulsul total pe care-l are un sistem de corpuri se conservă independent de modul în care aceste corpuri își modifică vitezele la ciocniri. După cum se va vedea lucrul acesta este însă imposibil dacă dorim să menținem o altă axiomă a mecanicii clasice, anume că masa este o mărime constantă pentru orice corp. Masa unuia și aceluiași corp trebuie să fie o mărime relativă. Ea poate să aibă valori diferite în funcție de sistemul de referință în care este măsurată, depinzînd de viteză.

Se observă că o definiție în care impulsul este direct proporțional cu viteza nu poate să asigure conservarea impulsului în orice sistem de referință.

Pentru a deduce dependența necunoscută $M\ (v)$ a masei unui corp de viteza lui, alegem un exemplu foarte special - ciocnirea neelastică a două corpuri (fig. 2)

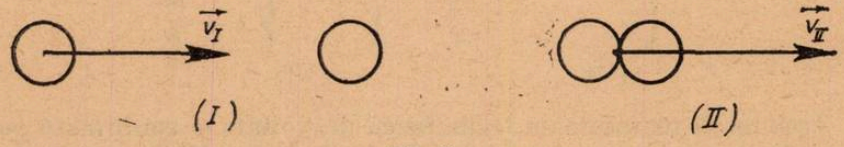


Fig. 2

Din punctul de vedere al mecanicii clasice, impulsul total este înainte de ciocnire $m_1\vec{v}_I$ și după ciocnire este $M\vec{v}_{II} = (m_1 + m_2)\vec{v}_{II}$ și conform legii conservării impulsului :

$$m_1\vec{v}_I = M\vec{v}_{II}$$

Din motive de simplitate alegem $m_1 = m_2 = m$ obținînd atunci :

$$\vec{v}_{II} = \frac{\vec{v}_I}{2}$$

Observăm că energia mecanică nu se conservă la ciocnire : înainte de ciocnire este $\frac{m}{2}v_I^2$ și după ciocnire este $\frac{2m}{2}v_{II}^2 = \frac{m}{4}v_I^2$

Să considerăm ciocnirea bilelor din punctul de vedere al mecanicii relativiste, scriind legea de conservare a impulsului :

$$m\ (v_I)\ \vec{v}_I = M\ (v_{II})\ \vec{v}_{II} \qquad (2)$$

Se va vedea imediat că $M(v_{II}) \neq 2m(v_{II})$ Ecuația e valabilă într-un sistem S în care bila din dreapta (v. fig. 2) este în repaus. Să considerăm acest proces într-un sistem S', care se mișcă față de S cu viteza $+v_I$. În S' din cauza bilelor identice, ciocnirea are loc complet simetric față de cea din S; în S' viteza comună după ciocnire este $-v_{II}$. Putem exprima această viteză cu ajutorul relației de compunere relativistă:

$$v_{II} = \frac{v_{II} + v_I}{1 - \frac{v_{II} v_I}{c^2}}, \text{ sau } v_I = \frac{2 v_{II}}{1 + \frac{v_{II}^2}{c^2}} \tag{3}$$

Pentru cazul limită clasic $v_{II} \ll c$ relația de mai sus dă rezultatul cunoscut $v_{II} = \frac{v_I}{2}$.

Se consideră relația: $m(v_I) + m(0) = M(v_{II})$ (4)

care se poate numi legea conservării masei, respectîndu-se principiul corespondenței. În continuare:

$$m(v_I) - v_I = [m(v_I) + m(0)] v_{II} \tag{5}$$

sau:

$$m(v_I) = m(0) \frac{v_{II}}{v_I - v_{II}} \tag{5'}$$

$$\frac{v_{II}}{v_I - v_{II}} = \frac{v_{II}}{\frac{2 v_{II}}{1 + \frac{v_{II}^2}{c^2}} - v_{II}} = \frac{1 + \frac{v_{II}^2}{c^2}}{1 - \frac{v_{II}^2}{c^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{4 \frac{v_{II}^2}{c^2}}{1 + \frac{v_{II}^2}{c^2}}}} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_I^2}{c^2}}}.$$

Obținem în final:

$$m(v) = \frac{m(0)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m_0 \alpha \tag{6}$$

rezultatul dependenței masei de viteză. Masa $m(o) = m_0$ se numește masă de repaus. În mecanica clasică se folosește numai acest caz limită al masei. Pentru impuls avem:

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \vec{v} \tag{7}$$

Putem scrie: $p = m_0 c \beta \alpha$ (8)

unde:

$$\beta = \frac{v}{c}, \quad \alpha = \left(1 - \frac{v_2}{c^2}\right)^{-1/2}$$

Creşterea relativistă a masei cu viteza a fost verificată în condiţii experimentale de deflecţie a electronilor; de asemenea aceasta este verificată implicit în acceleratorul de particule cu energii înalte.

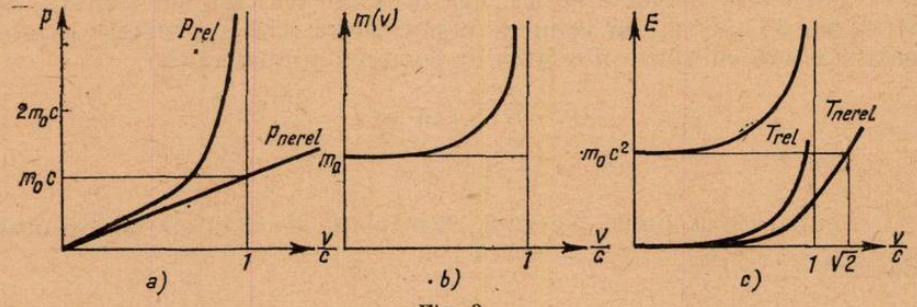


Fig. 3

Dată fiind variaţia masei cu viteza, se constată o relativitate a acesteia faţă de diferite sisteme de referinţă. Fie m masa relativistă a particulei ce se mişcă cu viteza v faţă de sistemul inerţial S, m' şi v' masa respectiv viteza aceleiaşi particule în raport cu sistemul S' care se mişcă cu viteza uniformă u faţă de S.

Dacă m_0 este masa de repaus a particulei:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad m' = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v'^2}{c^2}}}$$

astfel că:

$$m' = m \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{\sqrt{1 - \frac{v'^2}{c^2}}} \tag{9}$$

Folosind relaţiile din Nota II:

$$v'^2 = v_x'^2 + v_y'^2 + v_z'^2 = \frac{(v_x - u)^2 + (v_y^2 + v_z^2)\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)}{\left(1 - \frac{uv_x}{c^2}\right)^2}$$

$$= \frac{(v_x - u)^2 + (v^2 - v_x^2)\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)}{\left(1 - \frac{uv_x}{c^2}\right)^2}$$

din care:

$$\sqrt{1 - \frac{v'^2}{c^2}} = \frac{\sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)}}{1 - \frac{uv_x}{c^2}} \tag{10}$$

Atunci :

$$m' = m\frac{1-\frac{uv_x}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}} = m\alpha\left(1-\frac{uv_x}{c^2}\right) \tag{11}$$

3. Forță și accelerație.

Ne ocupăm de ecuația de mișcare, pentru forțe care acționează continuu. Legea de mișcare se enunță astfel : o forță F produce o variație de impuls astfel încît viteza de variație a componentei longitudinale, respectiv transversale a impulsului este egală cu componenta respectivă a forței, adică :

$$\vec{F} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(m\vec{v}) = \frac{\vec{\mathrm{d}p}}{\mathrm{d}t} \tag{12}$$

Dacă masa inerțială variază cu timpul :

$$\vec{F} = \frac{d}{dt}(u\vec{v}) = m\frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t} + \vec{v}\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t} \tag{13}$$

Prin diferențierea relației (7) pe componente, se obține :

$$\left.\begin{aligned} \frac{m(v)}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}\mathrm{d}v_x &= \frac{m_0}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}}\mathrm{d}v_x = F_x\,\mathrm{d}t \\ m\,(v)\,\mathrm{d}v_y &= \frac{m_0}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}\mathrm{d}v_y = F_y\,\mathrm{d}t \\ m\,(v)\,\mathrm{d}v_z &= \frac{m_0}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}\mathrm{d}\,v_z = F_z\,\mathrm{d}t \end{aligned}\right\} \tag{14}$$

cînd în condiții inițiale, la $t = 0$: $\begin{cases} v = v_x \quad v_y = v_z = 0 \\ \mathrm{d}v_x \neq 0,\ \mathrm{d}v_y \neq 0,\ \mathrm{d}v_z \neq 0 \end{cases}$

Dacă introducem componentele accelerației :

$$a_x = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}, \quad a_y = \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}, \quad a_z = \frac{dv_z}{\mathrm{d}t} \tag{15}$$

obținem pentru componentele forței :

$$F_x = \frac{m_0}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}}a_x, \quad F_y = \frac{m_0}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}a_y, \quad F_z = \frac{m_0}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}a_z \tag{16}$$

Relaţia dintre forţă şi acceleraţie produsă de ea, este deci diferită după cum forţa are orientarea după direcţia mişcării deja existente sau perpendicular pe ea.

Definim masa longitudinală :

$$m_{\parallel} = \frac{m_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}} = \frac{m\ (v)}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

şi masa transversală : (17)

$$m_{\perp} = \frac{m_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}} = m\ (v)$$

Se desprinde necesitatea de a defini noţiunea de masă exclusiv prin rezistenţa inerţială ; pentru forţe longitudinale şi transversale intervin în consideraţie mase diferite, care, în plus, nu sînt constante caracteristice ale corpului ci depind de viteza sa. Noţiunea relativistă de masă se îndepărtează deci foarte mult de semnificaţia conform căreia masa înseamnă într-un fel cantitate de materie. Pentru $v \to c$ masa devine infinit de mare. De aici rezultă că este imposibil să facem ca un corp să capete o viteză mai mare decît a luminii folosind forţe finite. Rezistenţa sa inerţială creşte la infinit şi împiedică atingerea vitezei luminii. Aici se vede cum teoria lui Einstein capătă o formă unitară armonioasă ; ipoteza unei viteze limită care apare aproape paradoxală este cerută de înseşi legile naturii în forma nouă.

Observaţie : O clasă importantă de forţe, cele electromagnetice ce satisfac ecuaţiile lui Maxwell sînt invariante la grupul de transformări Lorentz :

$$\vec{F} = q\ (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \tag{18}$$

4. Energia relativistă. Relaţia dintre impuls şi energie ; cuadrivectorul impuls-energie. Echivalenţa masei şi energiei. Lucru mecanic şi energie.

Facem la început nişte consideraţii formale :

$$p^2 = m_0^2 c^2 \beta^2 \alpha^2 \tag{19}$$

obţinut anterior

Identitatea :

$$\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \frac{\frac{v^2}{c^2}}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 1, \text{ sau } \alpha^2 - \beta^2\alpha^2 = 1 \tag{20}$$

este un invariant Lorentz.

Avem : $$m_0^2 c^4 (\alpha^2 - \beta^2\alpha^2) = m_0^2 c^4 \tag{21}$$

sau $$m_0^2 c^4 \alpha^2 - p^2c^2 = m_0^2c^4 \tag{22}$$

Din cauză că masa de repaus e constantă, $m_0^2c^4$ e constant și deci un invariant Lorentz.

Considerăm cantitatea :

$$m_0c^2\alpha = m_0c^2\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

care pentru $\beta \ll 1$, dezvoltînd în serie devine :

$$m_0\,c^2\alpha \simeq m_0\,c^2\left(1+\frac{1}{2}\beta^2+\ldots\right) = m_0c^2+\frac{1}{2}m_0v^2+\ldots \tag{23}$$

Definim energia relativistă totală E a unei particule libere prin ecuația :

$$E = m_0c^2\alpha = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \tag{24}$$

iar atunci : $$E^2 - p^2c^2 = m_0^2c^4 \tag{25}$$

este un invariant Lorentz.

Dacă facem transformarea dintr-un sistem în altul, $p \to p'$ și $E \to E'$ atunci invarianța înseamnă :

$$E'^2 - p'^2c^2 = E^2 - p^2c^2 = m_0^2c^4 \tag{26}$$

Considerăm (24), această formulă arată că, în particular în mecanica relativistă, energia unei particule libere nu tinde spre zero cînd $v \to 0$, ci rămîne o mărime finită $E = m_0c^2$, care se numește energie de repaus a particulei. Subliniem că deși vorbim despre particulă, caracterul ei „elementar" nu intervine nicăieri.

De aceea formulele obținute sînt aplicabile în egală măsură și unui corp complex alcătuit din mai multe particule, prin m înțelegîndu-se masa totală a corpului, iar prin v viteza sa de mișcare ca un întreg. Energia de repaus a unui corp conține în afară de energia de repaus a particulelor ce intră în componența sa și energia cinetică a particulelor în interior și energia lor de interacțiune reciprocă ; mărimea mc^2 nu este egală cu suma $\sum_i m_i\,c^2$ (m_i masa particulelor), de aceea nici m un este egal cu $\sum_i m_i$, în sens clasic.

În mecanica relativistă impulsul și energia sînt componentele unui singur cuadrivector. De aici rezultă direct formulele de transformare ale impulsului și energiei la trecerea de la un sistem de referință inerțial la altul :

$$p_x = \frac{p'_x + \frac{v}{c^2}E'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}, \quad p_y = p'_y, \quad p_z = p'_z$$

$$E = \frac{E' + vp_x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \tag{27}$$

Din expresiile de definiție ale impulsului și energiei relativiste, rezultă o relație între impulsul, energia și viteza unei particule libere:

$$\vec{p} = \vec{v}\frac{E}{c^2} \tag{28}$$

Pentru $v = c$, energia și impulsul devin infinite. Aceasta înseamnă că o particulă cu masa m diferită de zero nu poate să se miște cu viteza luminii; pentru altfel de particule cu masa nulă ce se mișcă cu viteza luminii:

$$p = \frac{E}{c} \tag{29}$$

Plecînd de la expresia:

$$p^2 + m_0^2 c^2 = \frac{E^2}{c^2} \tag{30}$$

exprimăm energia în funcție de impuls pentru o particulă liberă:

$$E = \pm c\sqrt{p^2 + m_0^2 c^2} \tag{31}$$

Unei valori absolute p a cantității de mișcare putem face să-i corespundă o stare de energie pozitivă și una negativă. Pentru o particulă dată, energia pozitivă variază între $+ m_0c^2$ și ∞ iar cea negativă, între $- m_0c^2$ și $- \infty$. În nici un caz energia nu poate lua valori cuprinse între $- m_0c^2$ și $+m_0c^2$; o particulă nu poate trece de la o stare de energie pozitivă (pe care știm să i-o dăm) la o stare de energie negativă. Apar proprietăți stranii: impulsul e direcționat invers vitezei, accelerația invers forței, o scădere a vitezei aduce o creștere a energiei.

Aceste proprietăți, însă, sînt necontradictorii; stările de energie negativă sînt interpretate, pentru particule încărcate în mecanica ondulatorie relativistă a lui Dirac, corespunzînd la antiparticule.

Posibilitatea unei intervertiri a masei și energiei a fost considerată de Einstein ca cea mai semnificativă contribuție la teoria relativității (Vezi și Nota 2).

Relația: $$E = m(v)\cdot c^2 \tag{32}$$

este riguros valabilă pentru energia totală fără restricție la $\frac{v}{c} \ll 1$ ca și:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 . \tag{32'}$$

Variația masei asociată conversiei energiei, este în general foarte mică în procesele obișnuite fiindcă c este mult mai mare decît vitezele comune. Deoarece masa este echivalentă cu energia, unui sistem cu energia relativistă E, i se asociază o masă inerțială $m = \frac{E}{c^2}$. Energia și masa inerțială sînt interpretate ca proprietăți diferite ale materiei. Legea „echivalenței" masei și energiei nu implică o convertire a lor dar stabilește proporționalitatea între variațiile lor. Deci legea conservării masei este echivalentă cu legea conservării energiei și capătă denumirea de lege de conservare pentru masă-energie.

Cu ajutorul relației între masă și energia relativistă se găsește o nouă relație între accelerație și forță.

În general:

$$\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = m\frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v}\frac{dm}{dt}$$

și

$$m = \frac{E}{c^2}.$$

Substituim în ecuația forței:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{1}{c^2}\frac{dE}{dt} = \frac{1}{c^2}\vec{F}\cdot\vec{v} \tag{33}$$

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} + \frac{\vec{v}(\vec{F}\vec{v})}{c^2} \tag{34}$$

sau:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{\vec{F}}{m} - \frac{\vec{v}}{mc^2}(\vec{F}\cdot\vec{v}) \tag{35}$$

Dăm aici un alt rînd de argumente, mai familiar, care duce la definiția energiei relativiste.

Gradul în care o forță acționează asupra unei particule, este definit de:

$$\frac{dE}{dt} = \vec{F}\vec{v} = \frac{d\vec{p}}{dt}\cdot\vec{v} \tag{36}$$

În domeniul relativist avem:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{m_0\vec{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right)$$

unde m_0 este masa constantă de repaus. In continuare:

$$\frac{dE}{dt} = m_0\vec{v}\cdot\frac{d}{dt}\left(\frac{\vec{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right) \tag{37}$$

unde

$$\vec{v}\cdot\frac{d}{dt}\left[\frac{\vec{v}}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}\right] = \vec{v}\left\{\frac{d\vec{v}}{dt}\frac{1}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}} + \frac{\vec{v}\left(\frac{\vec{v}\frac{d\vec{v}}{dt}}{c^2}\right)}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}}\right\} =$$

$$= \frac{1-\frac{v^2}{c^2}+\frac{v^2}{c^2}}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}}\vec{v}\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}\left[\frac{c^2}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}\right];$$

deci :

$$\frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt}\left[\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right] \tag{38}$$

Integrînd :

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} + E_0 \tag{39}$$

Interpretarea naturală a lucrului efectuat asupra unei particule libere este creşterea în energie cinetică a particulei. E devine chiar egal cu energia cinetică T, cu condiţia ca pentru $E = 0$ să avem $v = 0$, astfel că energia cinetică relativistă se scrie :

$$T = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2 = m_0 c^2 (\alpha - 1) \tag{40}$$

Se poate escrie energia totală ca :

$$E = m_0 c^2 + T \tag{41}$$

Pentru $v \ll c$:

$$\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} = 1 + \frac{v^2}{2c^2} + \ldots \tag{42}$$

adică energia cinetică relativistă este :

$$\mathrm{T} \simeq m_0 c^2 \left(1 + \frac{v^2}{2c^2}\right) - m_0 c^2 = \frac{1}{2} m_0 v^2 \tag{43}$$

în concordanţă la limită cu rezultatul nerelativist.

Expresia :

$$\mathrm{E} = (p^2 c^2 + m_0 c^4)^{1/2} = m_0 c^2 \left(1 + \frac{p^2}{m_0^2 c^2}\right)^{1/2} \tag{44}$$

este generalizarea relaţiei :

$$E = m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2 \tag{45}$$

Concluziile dinamicii relativiste se verifică total în natură, la gradul actual de cunoaştere existînd şi numeroase aplicaţii practice ale lor; se pot da exemple ca procesele de dezintegrare spontană sau provocată, ciocnirile particulelor de energii înalte, reacţiile nucleare stelare de fuziune, presiunea radiaţiei luminoase, ecuaţia relativistă a rachetei.

Nota 1

Legea de compunere relativistă a vitezelor (Cinematica relativistă).

Legea se deduce din transformările Lorentz de coordonate.

Considerăm sistemul S : (x, y, z, t) şi sistemul S′ : (x', y', z', t') care se mişcă faţă de primul cu viteza uniformă u, luată pentru simplitate paralelă cu axele x şi x' a sistemelor :

$$x = \frac{x' + ut'}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}} = \alpha\,(x' + ut') \qquad x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \alpha(x - ut)$$

$$y = y' \qquad y' = y$$

$$z = z' \qquad z' = z$$

$$t = \frac{t' + \frac{ux'}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}} = \alpha\left(t' + \frac{ux'}{c^2}\right) \qquad t' = \frac{t - \frac{ux}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \alpha\left(t - \frac{ux}{c^2}\right)$$

Transformările sînt simetrice la trecerea de la un sistem la altul; putem considera S′ în mişcare faţă de S cu viteza $u = \text{const.}$ sau mişcarea sistemului S cu viteza $(-u) = \text{const.}$ faţă de S′.

Considerăm mişcarea unei particule cu vitezele v şi v' respectiv, faţă de cele două sisteme; deducem transformarea între componente faţă de aceste sisteme :

$$v'_x = \frac{dx'}{dt'} = \frac{d\,(x - ut)}{d\left(t - \frac{ux}{c^2}\right)} = \frac{\frac{dx}{dt} - u}{1 - \frac{u}{c^2}\frac{dx}{dt}} = \frac{v_x - u}{1 - \frac{uv_x}{c^2}}$$

$$v'_y = \frac{dy'}{dt'} = \frac{dy}{\alpha d\left(t - \frac{ux}{c^2}\right)} = \frac{1}{\alpha}\,\frac{\frac{dy}{dt}}{1 - \frac{u}{c^2}\frac{dx}{dt}} = \frac{1}{\alpha}\,\frac{v_y}{1 - \frac{uv_x}{c^2}}$$

$$v'_z = \frac{dz'}{dt'} = \frac{dz}{\alpha d\left(t - \frac{ux}{c^2}\right)} = \frac{1}{\alpha}\,\frac{\frac{dz}{dt}}{1 - \frac{u}{c^2}\frac{dx}{dt}} = \frac{1}{\alpha}\,\frac{v_z}{1 - \frac{uv_x}{c^2}}$$

$$\begin{cases} v'_x = \dfrac{v_x - u}{1 - \frac{uv_x}{c^2}} \\ v'_y = \dfrac{1}{\alpha}\,\dfrac{v_y}{1 - \frac{uv_x}{c^2}}; \\ v'_z = \dfrac{1}{\alpha}\,\dfrac{v_z}{1 - \frac{uv_x}{c^2}} \end{cases} \qquad \begin{cases} v_x = \dfrac{v'_x + u}{1 + \frac{uv_x}{c^2}} \\ v_y = \dfrac{1}{\alpha}\,\dfrac{v'_y}{1 + \frac{uv_x}{c^2}} \\ v_z = \dfrac{1}{\alpha}\,\dfrac{v'_z}{1 + \frac{uv_x}{c^2}} \end{cases}$$

BIBLIOTECA „ASTRA"
S I B I U

Nota 2

Variația masei cu viteza poate fi privită ca o consecință a ipotezei lui Einstein că $E = mc^2$.

În continuare se dau două căi matematice pentru această demonstrație :

1). $$dE = \vec{F}\,d\vec{l},\ \vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = m\frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v}\frac{dm}{dt}$$

fără a face ipoteze asupra formei lui m.

$$\vec{F}\,d\vec{l} = m\frac{d\vec{v}}{dt}\,d\vec{l} + \vec{v}\frac{dm}{dt}\,d\vec{l} = m\vec{v}\,d\vec{v} + \vec{v}^2 dm$$

aceasta fiind egal cu diferențială energiei cunoscute din ipoteză ;

$$mvdv + v^2dm = d(mc^2) = c^2dm$$
$$mvdv = (c^2 - v^2)\ dm$$

Integrînd și punînd condiția ca m_0 să corespundă la viteza nulă :

$$\text{Log } m \Big|_{m_0}^{m} = -\frac{1}{2}\text{Log}\,(c^2 - v^2)\Big|_0^v$$

obținem :

$$\frac{m}{m_0} = \left(\frac{c^2 - v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

sau :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

2). Cealaltă cale este următoarea :

$$\frac{dE}{dt} = \vec{F}.\vec{v},\ \vec{F} = \frac{d(mv)}{dt}$$

Rezolvăm ecuația pentru m :

$$\frac{d\,(mc^2)}{dt} = v\,\frac{d\,(mv)}{dt}$$

$$d(mc^2) = vd(mv)$$
$$c^2\ 2m\ dm = 2mv\ d\ (mv)$$
$$c^2\ d(m^2) = d((mv)^2)$$

integrînd obținem : $m^2c^2 = m^2v^2 + C$

Explicităm constanta C punînd condiția ca inițial corpul să fie în repaus:

$$m_0^2\,c^2 = 0 + C \quad m^2c^2 = m^2v^2 + m_0^2c^2$$

$$m^2\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = m_0^2 \text{ din care în final : } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

I. P. „Informația" – c. 1498

Index 43 459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL IX

8

AUGUST 1972
RFCABV 9(8) 281–320 (1972)

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7, BUCUREȘTI—46 TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag.

Lector dr. *Otto F. C. Aczel*, Timișoara

1. Frecarea internă la metale 281

Lucrări de laborator

Conf. univ. dr. *S. Cosma*, Timișoara

2. Obținerea macromonocristalelor de alaun 296

Chim. *I. J. Vasilescu*, Făgăraș

3. Reacții de culoare ale purpurogalinei 298

Pentru clasele speciale

Prof. *Maria Petrescu Prahova*, București

4. Ce sînt și ce rol au mărimile fizice? 305

Asist. *P. Crăciun* prof. *V. Păcuraru*

5. Aspecte ale emisiunii electronice la substanțele nemetalice 312

Prof. *Vasile Fey*. Cluj

36. Observații în legătură cu fluxul de inducție magnetică 318

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, conf. univ.; **Teodor Bohățiel**, lector univ.; **Simion Bulgărea**, prof. **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor; **Nicolae Martalogu**, conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof. **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Anul IX nr. 8 august 1972

FRECAREA INTERNĂ LA METALE

Lector dr. *OTTO F. G. ACZEL*, Universitatea Timişoara

Experienţa arată că oscilaţiile libere ale unui solid se amortizează cu timpul. Făcînd abstracţie de contribuţia mediului exterior la atenuarea oscilaţiilor, cauzele ei rezidă în interiorul solidului şi poartă numele de „frecare internă". Atenuarea intensităţii sunetului prin solide, amortizarea oscilaţiilor libere ale unui pendul de torsiune, etc, se datoresc frecării interne.

În timpul amortizării oscilaţiilor libere ale unui solid, energia macroscopică, mecanică, dispare treptat ca atare, ea fiind preluată de către sisteme microscopice de atomi sau chiar atomi izolaţi, dînd naştere la o cantitate echivalentă de căldură. Procesele de frecare internă sînt deci ireversibile. Deşi fenomenul de frecare internă este de mult cunoscut, constituind preocuparea unor fizicieni celebri încă în secolul trecut (J. C. Maxwell, Lord Kelvin, etc), un studiu sistematic al lui, precum şi cercetarea cauzelor lui nu au fost întreprinse, decît în ultimele trei decenii. Astfel frecarea internă a metalelor este unul din domeniile moderne ale fizicii corpului solid. Interesul crescînd pentru studiul ei are un dublu aspect: cel tehnic (urmărindu-se în practică în special obţinerea unor comportări extreme: frecare internă foarte mare şi foarte mică), şi cel fizic (ca mijloc de studiu al structurii interne a cristalelor, mai cu seamă al defectelor reţelei cristaline). În prezentul articol se va insista numai asupra unor probleme cu caracter fizic.

A. Teoria macroscopică a frecării interne

§ 1. *Fenomene secundare la deformările elastice ale metalelor*

Dacă un corp solid, perfect elastic, este supus unei deformări, atunci între efortul unitar σ şi deformaţia specifică ε există conform legii lui R. Hooke relaţia:

$$\sigma = M\varepsilon, \tag{1}$$

independent de desfăşurarea în timp a deformaţiilor. M este modulul de elasticitate al materialului, respectiv modulul de forfecare.

În realitate metalele prezintă diferite abateri de la comportarea perfect elastică, chiar dacă nu se părăseşte domeniul de elasticitate. Iată exemple:

— Dacă unui fir metalic i se imprimă, în domeniul elastic, o deformare ce rămîne constantă în timp, se constată o scădere treptată a efortului unitar, fenomenul purtînd numele de relaxare.

— Dacă în schimb îi menținem constant efortul unitar, vom observa după o alungire instantanee alta progresivă, care tinde către o valoare determinată. Acest fenomen este cunoscut sub numele de fluaj sau trenaj, dar este inclus în multe cazuri tot în denumirea de relaxare.

Una din consecințele acestor comportări se referă la modulul de elasticitate, M. Pentru solicitări mici, metalele prezintă un M constant, care poate fi determinat prin diferite metode. S-a constatat însă că se obțin valori diferite pentru aceeași probă, după cum M se determină prin metode statice sau dinamice. Deși diferențele sînt mici, ele apar sistematic și nu pot fi trecute cu vederea. Explicația difrenței poate fi dată cu ajutorul fenomenului de relaxare. Trasînd diagrama $\sigma - \varepsilon$, aceasta va avea aspecte diferite, după momentul în care este trasată, deoarece σ nu mai este o funcție univocă de ε. Admițînd linearitatea legii lui Hooke, în fig.1

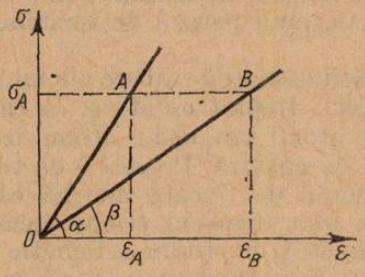


Fig. 1

dreapta OA corespunde înregistrării instantanee, iar OB cazului relaxării. Într-adevăr, luînd în considerare și factorul timp, se poate presupune că σ crește brusc de la zero la valoarea σ_A, iar deformarea de la zero la ε_A. După ce σ_A rămîne constant, ε totuși continuă să crească pînă la valoarea finală ε_B, punctul de pe diagramă deplasîndu-se de la A la B.

Conform relației (1), M poate fi interpretat ca fiind panta dreptei $\sigma - \varepsilon$. Cum însă această pantă diferă în cazul relaxat și nerelaxat, vom distinge două feluri de module elastice :

— modulul instantaneu (sau nerelaxat) :

$$M_I = \operatorname{tg}\alpha = \left(\frac{\sigma}{\varepsilon}\right)_{t=0} \tag{2}$$

— modulul relaxat,

$$M_R = \operatorname{tg}\beta = \left(\frac{\sigma}{\varepsilon}\right)_{t=\infty} \tag{3}$$

Evident că :

$$M_I > M_R. \tag{4}$$

Dacă pentru determinarea modulului de elasticitate se va folosi o metodă statică, relaxarea are timp suficient să-și facă din plin efectul, iar modulul determinat va fi cel relaxat, M_R. Din contră, la metodele dinamice acest lucru nu se poate întîmpla și modulul determinat va fi mai mare decît M_R, luînd la variații suficient de rapide ale deformației chiar valoarea M_I.

Din cele de mai sus putem să rezumăm, că metalele prezintă chiar la eforturi mici mai multe tipuri de deformații.

1. Deformații instantanee, care apar odată cu aplicarea forței și se mențin constante, dacă forța rămîne constantă. Din această categorie fac parte procesele pur elastice.

2. Deformații care se desfășoară în timp, modificîndu-se chiar la menținerea constantă a forței. O descriere foarte bună a acestor deformații se obține cu ajutorul funcției exponențiale $\exp(-t/\tau)$, τ fiind o constantă. Procesele legate de aceste fenomene sînt procese de relaxare.

3. La aceste două tipuri mai trebuie să adaugăm cazul cînd deformația suplimentară capătă un caracter oscilatoriu, tinzînd spre valoarea finală nu după o funcție exponențială, ci după o funcție oscilatorie amortizată. Dacă solicitarea este periodică, poate apare o rezonanță.

Dar clasificarea comportării metalelor în funcție de abaterea lor de la comportarea ideală, perfect elastică, se poate face nu numai cu ajutorul parametrului timp, ci și prin caracterul dependenței deformației suplimentare ε_s de efortul unitar σ.

A. Cazul cel mai simplu este dependența liniară, $\varepsilon_s = k \cdot \sigma$, așa că la trasarea diagramei statice $\sigma - \varepsilon$ se obține o dreaptă (fig. 1, OB).

B. Se poate întîmpla însă, ca $\varepsilon_s = f(\sigma)$ să fie o curbă arbitrară, dar, ca și la A, dependența să fie univocă.

C. Uneori însă deformația suplimentară nu este o funcție univocă de efortul unitar, ci este influențată de eforturile anterioare. În felul acesta, la creșterea efortului (întindere) se obține o anumită curbă $\sigma - \varepsilon$ iar la scăderea lui (revenire, respectiv comprimare) alta. Aici este vorba evident de un fenomen de histereză mecanică.

Clasificările făcute mai sus nu se exclud, ci se pot combina în diferite feluri. Cele mai importante combinări se obțin din : 2. cu A. (procese de relaxare), 3. cu A. (rezonanță), 1. cu C. (histereză).

Proprietatea metalelor de a prezenta astfel de abateri de la elasticitatea perfectă, a fost denumită de Cl. Zener „*anelasticitate*".

§2. *Procese de relaxare, rezonanță și histereză*

a.) Deformațiile care se datoresc fenomenelor de relaxare pot fi descrise cu o precizie satisfăcătoare cu ajutorul unor funcții exponențiale de timp, dacă se admite că valoarea finală a deformației suplimentare este și ea, ca și cea elastică, direct proporțională cu solicitarea (cazul 2. cu A.).

Să presupunem că aplicăm la un moment dat un efort unitar, care rămîne constant într-un interval de timp, după care scade iarăși brusc la zero (fig. 2, a). În momentul aplicării forței, deformația instantanee este ε_{el} (fig. 2, b), dar deformația continuă să crească după o lege exponențială :

$$\varepsilon_s (1 - e^{-t/\tau_\sigma})$$

avînd la sfîrșitul intervalului de timp suficient de lung valoarea finală ε_s ($t = 0$ în momentul aplicării forței).

După ce σ scade brusc la zero, relaxarea se manifestă din nou prin faptul că deformarea nu scade și ea brusc la zero, ci se apropie de această valoare tot după o lege exponențială :

$$\varepsilon_s e^{-t/\tau_\sigma}$$

($t = 0$ în momentul dispariției forței). Constanta τ_σ are dimensiunile timpului și depinde de natura și proprietățile metalului. Ea se numește timp de relaxare la efort constant.

Dar fenomenul relaxării este propriu nu numai deformării, ci şi efortului. În fig. 3 se poate urmări relaxarea efortului la aplicarea unei deformaţii constante, care apoi scade din nou brusc la zero. Şi aici se va introduce în mod analog un timp de relaxare, dar la deformaţie constantă, τ_ε.

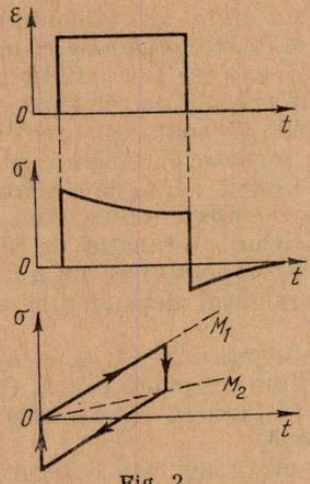


Fig. 2

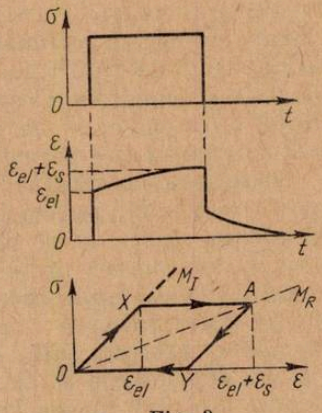


Fig. 3

Foarte important este cazul unor solicitări alternative, pe care le considerăm, pentru simplificare, la început tot dreptunghiulare (fig. 4, a). Pe baza fig. 2, b se înţelege uşor, de ce forma de variaţie a deformaţiei este aceea din fig. 4, b. De asemenea şi diagrama $\sigma - \varepsilon$ poate fi uşor înţeleasă pe baza fig. 2, c.

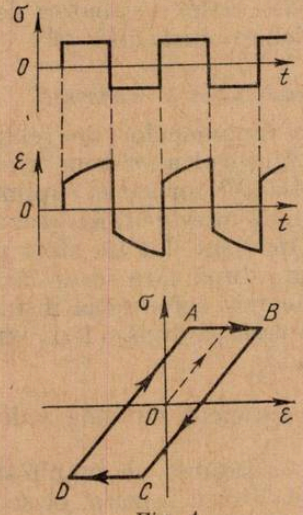


Fig. 4

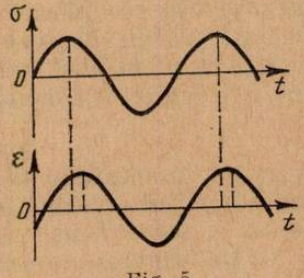


Fig. 5

Ceea ce trebuie să ne reţină atenţia în mod deosebit, este atingerea valorii maxime a lui ε în mod treptat, adică după momentul în care σ îşi atinge valoarea maximă. Această întîrziere se va manifesta evident şi atunci cînd este vorba de oscilaţii armonice (fig. 5), la care apare un

defazaj al deformației ε în urma efortului σ. Acest defazaj este deci consecința comportării anelastice a metalelor și ar dispare la metale perfect elastice. Ca o măsură a defazajului se ia de obicei tg δ.

Din cele de mai sus putem să prevedem că fenomenele legate de relaxare (după cum vom vedea, inclusiv frecarea internă) vor fi dependente de frecvența oscilațiilor probei, dar independente de amplitudinea acestor oscilații.

b) Dacă se aplică unei probe metalice, brusc, o forță (fig. 6, a), se poate întîmpla ca deformația să varieze ca în fig. 6, b, adică să oscileze

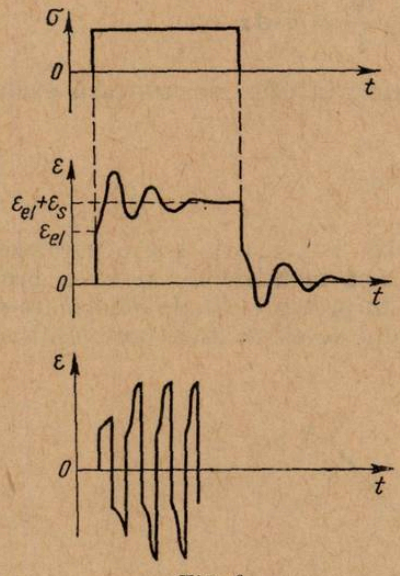


Fig. 6

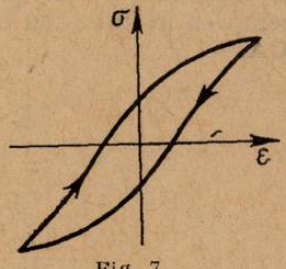


Fig. 7

cu o frecvență ν_0 în jurul unei valori ε_s și să se amortizeze. Dacă proba este supusă unor solicitări periodice și frecvența impusă este cu mult diferită de ν_0, procesele ce decurg în material sînt analoge cu cele de relaxare. Pentru frecvențe foarte mari, deformația suplimentară nu are timp să se producă și determinările experimentale nu permit înregistrarea ei, deci modulul de elasticitate este mare (M_I). Dacă, dimpotrivă, frecvența impusă probei este foarte mică, deformația suplimentară este tot timpul realizată și se găsește un modul mic (M_R).

Cel mai interesant caz se obține la rezonanța dintre frecvența impusă și ν_0 (fig. 6, c). Amplitudinea deformației suplimentare devine cu mult mai mare decît la o solicitare statică, ceea ce conduce la o scădere puternică, sub valoarea statică, a modulului de elasticitate. În cazul rezonanței, materialul devine deci foarte deformabil. Se înțelege și aici dependența de frecvență și independența de amplitudine a fenomenelor studiate.

c) Toate metalele prezintă în măsură mai mare sau mai mică și fenomenul de histereză mecanică. După cum s-a amintit mai înainte, la creșterea efortului se obține o altă diagramă $\sigma - \varepsilon$ decît la scăderea lui (fig. 7). Unui anumit σ îi corespund două valori pentru ε și invers. Ele sînt mereu aceleași, indiferent de cîte ori se parcurge ciclul și de viteza de

parcurgere, deoarece o curbă de histereză ideală nu depinde de timp. De aceea fenomenele legate de histerză sînt independente de frecvenţă, dar depind de amplitudinea deformaţiilor.

§ 3. *Bilanţul energetic al deformaţiilor anelastice*

În strînsă legătură cu fenomenele de relaxare se impune studiul bilanţului energetic. Pentru a fixa ideile, ne vom opri asupra unui fir magnetic, supus unei tracţiuni. Lucrul mecanic elementar corespunzător unităţii de volum va fi :

$$\frac{F \cdot dl}{V} = \frac{F}{S} \cdot \frac{dl}{l} = \sigma \cdot d\varepsilon$$

iar lucrul mecanic total (ne vom referi în cele ce urmează exclusiv la unitatea de volum) :

$$\int \sigma \cdot d\varepsilon$$

este egal cu aria cuprinsă între curba $\sigma - \varepsilon$, axa ε şi o paralelă la axa σ dusă prin extremitatea curbei. Dacă metalele nu ar avea proprietăţi anelastice, diagrama $\sigma - \varepsilon$ pentru un proces ciclic de deformare-revenire s-ar prezenta ca în fig. 8, cu un modul de elasticitate unic, egal cu panta dreptei OA.

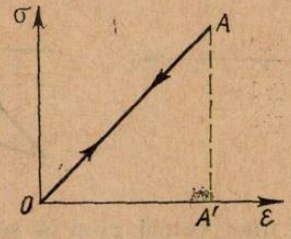


Fig. 8

În timpul alungirii elastice diagrama se parcurge de la O la A şi se efectuează asupra probei un lucru mecanic egal cu aria triunghiului OAA'. La revenire, de la A la O lucrul mecanic va avea aceeaşi valoarea numerică, dar semnul schimbat, aşa că lucrul mecanic total, pe întregul ciclu, va fi egal cu zero. În consecinţă nu a fost necesar nici un consum de energie din exterior pentru realizarea ciclului.

Altfel stau lucrurile în cazul real, al metalelor cu proprietăţi anelastice. Fig. 3, c ne arată că, avînd în vedere măsura lucrului mecanic prin arii, la întindere s-a efectuat asupra probei un lucru mecanic mai mare decît a efectuat proba asupra mediului la revenire. Pentru realizarea ciclului OXAYO a fost aşadar necesar un lucru mecanic efectuat asupra materialului, legat de scăderea energiei mediului, măsurabilă prin aria OXAYO, egală cu lucrul mecanic efectuat.

Dacă eşantionul efectuează oscilaţii (fig. 4 şi 5), raţionamentul de mai sus rămîne în principiu acelaşi, dar este utilă o continuare a lui. Din nou vom considera un exemplu concret şi anume un pendul de torsiune,

care efectuează oscilații cuasiarmonice. S-a văzut că pentru un proces ciclic (o singură oscilație) sistemul consumă un lucru mecanic pe seama scăderii energiei unui alt sistem, exterior. Dacă însă nu vom livra pendulului această energie, deci îl vom lăsa să oscileze liber, lucrul mecanic necesar pentru realizarea ciclului se va efectua pe seama energiei lui proprii, mecanice, în tot decursul oscilației, așa că el nu va mai reveni după o oscilație exact în starea lui inițială, procesul ne mai fiind perfect ciclic. Următorul cuasiciclu pornește deja cu o energie mai mică, care scade în decursul oscilației și mai mult, etc. În felul acesta oscilațiile pendulului se amortizează treptat.

Iată cum comportarea anelastică explică amortizarea oscilațiilor libere ale corpurilor metalice. Există deci o legătură strînsă între această amortizare și procesele anelastice.

Complexul de fenomene legate de amortizarea internă a oscilațiilor libere ale metalelor, deci a disipării de energie, inclusiv cauzele ei, sînt cunoscute sub denumirea de *frecare internă*. Ea se notează cu Q^{-1}.

§ 4. *Mărimile ce pot caracteriza frecarea internă*

În cazurile practice, determinarea frecării interne se face cu ajutorul proceselor oscilatorii (pendul de torsiune, sistem oscilant fără masă auxiliară, absorbția sunetului, etc). De aceea mărimile fizice care o definesc, sînt tot din domeniul oscilațiilor. Vom presupune peste tot oscilații cu amortizare mică. Din cele expuse anterior rezultă că frecarea internă, care conduce la amortizarea oscilațiilor libere ale probelor metalice, se datorește unei pierderi de energie mecanică la fiecare ciclu. De aceea se dovedește util a alege, ca o măsură pentru frecarea internă la oscilații libere, o mărime proporțională cu această energie disipată pe ciclu, ΔE raportată la energia totală a mișcării :

$$Q^{-1} = k \cdot \frac{\Delta E}{E} \tag{5}$$

Coeficientul k se ia egal cu $1/2\pi$ pentru motive ce se vor cunoaște mai jos. Raportul $\Delta E/E$ nu este însă întotdeauna ușor de determinat. De aceea se caută alte mărimi, accesibile experienței, cu ajutorul cărora el se poate exprima.

Am arătat că din cauza relaxării apare o diferență de fază între σ și ε. Cum însă o relaxare conduce la o frecare internă, vom căuta o legătură între aceste mărimi.

Se știe că două oscilații armonice defazate între ele (σ și ε) se reprezintă în diagrama elongațiilor sub forma unei elipse. Energia disipată este egală cu aria elipsei. Dacă amortizarea este mică, oscilațiile vor fi cuasiarmonice :

$$\sigma = \sigma_m \cos \omega t$$

$$\varepsilon = \varepsilon_m \cos (\omega t - \delta).$$

Aria elipsei se obține prin integrala :

$$\Delta E = \oint \sigma \cdot \mathrm{d}\varepsilon = - \sigma_m \varepsilon_m \int_0^{2\pi} \cos \omega t \cdot \sin (\omega t - \delta) \cdot \mathrm{d} (\omega t),$$

sau :

$$\Delta E = \pi \sigma_m \varepsilon_m \sin\delta. \tag{6}$$

Considerînd frecarea internă mică, putem lua energia întregei mişcări aproximativ egală cu :

$$E = \frac{\sigma_m \varepsilon_m}{2} \tag{7}$$

Împărţind (6) la (7), găsim energia disipată raportată la energia totală :

$$\frac{\Delta E}{E} = 2\pi \sin\delta \approx 2\pi \operatorname{tg}\delta, \tag{8}$$

Pentru caracterizarea frecării interne se foloseşte $\operatorname{tg}\delta$, aşa că :

$$Q^{-1} = \operatorname{tg}\delta = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta E}{E}. \tag{9}$$

Frecarea internă mai poate fi măsurată şi prin decrementul logaritmic al oscilaţiei. Vom stabili în acest scop legătura dintre decrementul logaritmic θ şi raportul $\Delta E/E$, folosind proporţionalitatea energiei unei oscilaţii cu patratul amplitudinii. Dacă la momentul t amplitudinea este A_t, iar după o perioadă este A_{t+T}, atunci :

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{A_t^2 - A_{t+T}^2}{A_t^2}.$$

Deoarece la oscilaţiile amortizate amplitudinea scade de regulă exponenial, adică :

$$\varepsilon = \varepsilon_m e^{-\beta t} \cos(\omega t - \delta), \tag{10}$$

putem scrie :

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{e^{-2\beta t} - e^{-2\beta(t+T)}}{e^{-2\beta t}} = 1 - e^{-2\beta T} \approx 2\beta T = 2\theta,$$

deci, cu (9) :

$$Q^{-1} = \frac{\theta}{\pi}. \tag{11}$$

Frecarea internă se poate măsura şi la oscilaţii forţate, prin trasarea curbei de rezonanţă (fig. 9). Se poate demonstra că :

$$Q^{-1} = \frac{\nu_2 - \nu_1}{\nu_0 \sqrt{3}}$$

unde ν_1 şi ν_2 sînt frecvenţele de o parte şi de alta a frecvenţei de rezonanţă ν_0, corespunzînd punctelor cu amplitudinea egală cu jumătatea celei de rezonanţă.

Frecarea internă se măsoară frecvent prin absorbţia sunetului. Dacă ecuaţia undei este :

$$y = y_0 e^{-ax} \cos\omega\left(t - \frac{x}{v}\right),$$

a fiind coeficientul de absorbție, atunci disiparea de energie pe un ciclu se găsește și aici din proporționalitatea energiei cu patratul amplitudinii. Deci :

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{A_x^2 - A_{x+\lambda}^2}{A_x^2} = 1 - e^{-2a\lambda} \approx 2a\lambda = 2a\frac{v}{\nu}.$$

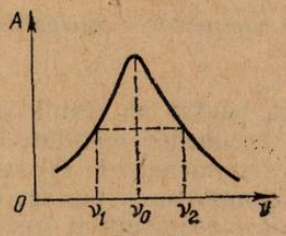


Fig. 9

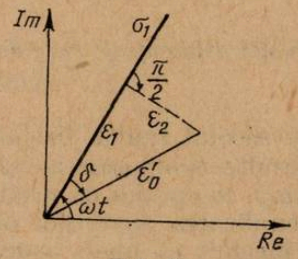


Fig. 10

În studiul frecării interne este avantajos de a reprezenta mărimile oscilatorii prin metoda complexă :

$$\sigma = \sigma_1 e^{i\omega t}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0' e^{i(\omega t - \delta)} = \varepsilon_0' e^{-i\delta} e^{i\omega t},$$

σ_1 și ε_0' fiind mărimi reale, sau :

$$\varepsilon = \varepsilon_0' (\cos\delta - i \sin\delta) e^{i\omega t} = \varepsilon_0 e^{i\omega t}$$

unde :

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_0' (\cos\delta - i \sin\delta) = \varepsilon_1 - i\varepsilon_2$$

este amplitudinea complexă a lui ε.

Oscilațiile lui ε se pot deci interpreta ca fiind compuse dintr-o componentă în concordanță de fază cu σ, $\varepsilon_1 e^{i\omega t}$, având amplitudinea reală ε_1 și alta, defazată cu 90° în urma lui σ, $-i\,\varepsilon_2 e^{i\omega t}$, având amplitudinea ε_2 (fig. 10).

Se vede că :

$$Q^{-1} = \operatorname{tg}\delta = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}, \tag{12}$$

În ecuațiile de mai sus σ_1 și $(\varepsilon_1 - i\varepsilon_2)$ sînt amplitudinile (complexe) ale oscilațiilor, ε_1 și ε_2 fiind partea reală, respectiv imaginară a amplitudinii complexe ε_0 a deformației. De aceea (12) se poate pune sub forma :

$$Q^{-1} = \operatorname{tg}\delta = -\frac{\operatorname{Im}(\varepsilon_0)}{\operatorname{Re}(\varepsilon_0)}. \tag{13}$$

În analogie cu legea lui Hooke se poate defini un modul complex de elasticitate :

$$\mu = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_0'} e^{i\delta} = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_0'} (\cos\delta + i \sin\delta). \tag{14}$$

Pentru frecarea internă se obține din (14):

$$Q^{-1} = \frac{\mathrm{Im}\,(\mu)}{\mathrm{Re}\,(\mu)}, \tag{15}$$

adică, frecarea internă este raportul dintre părțile imaginară și reală a modulului complex de elasticitate.

§5. *Ecuații diferențiale care descriu comportarea anelastică a metalelor*

Încă din secolul trecut fizicienii au căutat să stabilească ecuații, din care să rezulte comportarea reală a corpurilor metalice la solicitări variabile în timp, în special cu privire la fenomenele de relaxare.

Pentru explicarea abaterilor de la comportarea perfect elastică s-a considerat la început că unele aspecte ale mecanismului frecării interne sînt analoge cu vîscozitatea lichidelor. De aceea s-a recurs la formula lui Newton pentru forța de vîscozitate:

$$F = \eta S \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}n}, \tag{16}$$

unde S este aria, în direcția mișcării de-a lungul căreia este aplicată tangențial forța vîscoasă F din partea straturilor vecine, η coeficientul de vîscozitate, v viteza stratului de lichid respectiv, iar n variabila spațială normală la S (fig. 11).

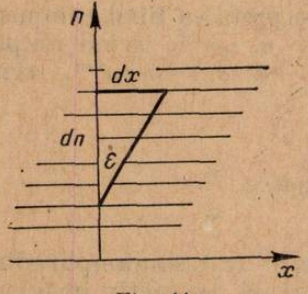


Fig. 11

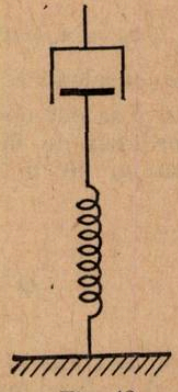


Fig. 12

Din cauza viscozității, straturile de lichid au viteze diferite, iar $\mathrm{d}v/\mathrm{d}n$ poate fi exprimat mai convenabil, dacă punem $v = \mathrm{d}x/\mathrm{d}t$ și inversăm ordinea derivării:

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}n} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}n}\left(\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right) = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}n}\right),$$

unde:

$$\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}n} = \mathrm{tg}\,\varepsilon \approx \varepsilon$$

este deformația specifică. Putem deci scrie relația (16) astfel:

$$\frac{F}{S} = \eta \frac{d\varepsilon}{dt}$$

sau:

$$\sigma = \eta \dot{\varepsilon} \tag{17}$$

a) Una din cele mai simple interpretări fenomenologice ale frecării interne se datorește lui J. C. Maxwell, care o atribuie fenomenului de relaxare a efortului. Solidul studiat poate fi considerat ca fiind compus din „*elemente Maxwell*", comparabile în comportare cu un sistem format dintr-un resort elastic și un amortizor, legate în serie (fig. 12). Resortul se supune legii lui Hooke, iar amortizorul legii lui Newton.

Deformația se presupune în consecință o sumă:

$$\varepsilon = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{visc} \tag{18}$$

unde:

$$\varepsilon_{el} = \frac{\sigma}{M} \quad \text{și} \quad \dot{\varepsilon}_{visc} = \frac{\sigma}{\eta}, \tag{19}$$

Derivînd relația (18) și ținînd seama de (19), găsim:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{M} + \frac{\sigma}{\eta} \tag{20}$$

Să presupunem că începînd cu momentul $t = 0$ deformația rămîne constantă, adică $\dot{\varepsilon} = 0$. În acest caz ecuația (20) devine:

$$\sigma + \frac{\eta}{M} \dot{\sigma} = 0.$$

Notînd:

$$\tau_\varepsilon = \frac{\eta}{M}, \tag{21}$$

ecuația precedentă ia forma:

$$\dot{\sigma} + \frac{1}{\tau_\varepsilon} \sigma = 0.$$

Soluția ei este:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-t/\tau_\varepsilon}, \tag{22}$$

de unde rezultă interpretarea timpului de relaxare la deformație constantă, ca fiind timpul în care valoarea lui σ scade de e ori, cînd ε devine constant.

Să calculăm acum frecarea internă. Dacă procesele sînt cuasiperiodice, adică:

$$\sigma = \sigma_0 e^{i\omega t}; \quad \varepsilon = \varepsilon_0 e^{i\omega t} \tag{23}$$

vom găsi prin derivare:

$$\dot{\sigma} = i\omega\sigma; \quad \dot{\varepsilon} = i\omega\varepsilon$$

care, înlocuite în (20), conduc la:

$$i\omega\varepsilon = \frac{i\omega\sigma}{M} + \frac{\sigma}{\eta},$$

iar din (14) rezultă :

$$\mu = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{i\omega}{\frac{i\omega}{M} + \frac{1}{\eta}} \tag{24}$$

şi frecarea internă va fi dată de (15) :

$$Q^{-1} = \frac{M}{\omega\eta} = \frac{1}{\omega\tau_\varepsilon}. \tag{25}$$

Se vede că la un corp de tip Maxwell frecarea internă variază invers proporţional cu frecvenţa.

Ecuaţia propusă de Maxwell explică acea comportare a unor corpuri, care reacţionează ca lichidele atunci cînd sînt solicitate de forţe lent variabile (ω mic) şi ca solidele la forţe rapid variabile (ω mare). Într-adevăr, pentru ω foarte mic, (24) devine :

$$\mu = i\omega\eta$$

şi

$$\sigma = \mu\varepsilon = \eta \cdot i\omega\varepsilon = \eta\dot{\varepsilon}$$

care este ecuaţia lui Newton pentru lichide. Pentru ω foarte mare :

$$\mu = M \quad \text{şi} \quad \sigma = M\varepsilon$$

adică , legea lui Hooke pentru solide.

Dar elementele Maxwell au dezavantajul că nu prezintă fenomenul de relaxare a deformaţiei la efort constant. Dacă σ = const., din (24) decurge $\dot{\varepsilon}$ = const., adică o curgere cu viteză constantă, ceea ce nu este o elaxare.

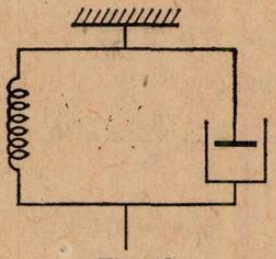


Fig. 13

b.) Pentru acest motiv elementele Maxwell pot fi înlocuite cu ele mente Voigt-Kelvin (fig. 13), la care elementul elastic şi cel vîscos sînt legate în paralel. Aici se însumează eforturile :

$$\sigma = M\varepsilon + \eta\dot{\varepsilon}. \tag{26}$$

Ne vom ocupa de cazul cînd σ scade la zero în momentul $t=0$. Din (26) obţinem :

$$\dot{\varepsilon} + \frac{M}{\eta}\varepsilon = 0 \tag{27}$$

sau, notînd :

$$\tau_\sigma = \frac{\eta}{M}, \tag{28}$$

$$\dot{\varepsilon} + \frac{1}{\tau_\sigma}\varepsilon = 0. \tag{29}$$

Soluţia acestei ecuaţii este :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 e^{-t/\tau_\sigma} \tag{30}$$

de unde rezultă interpretarea lui τ_σ, ca fiind timpul, după care deformaţia scade de e ori, cînd σ a devenit zero.

Pentru calculul frecării interne se procedează la fel ca mai sus, obţinîndu-se :

$$\mu = M + i\omega\eta \tag{31}$$

şi

$$Q^{-1} = \frac{\omega\eta}{M} = \omega\tau_\sigma. \tag{32}$$

Se observă că de astădată frecarea internă este direct proporţională cu frecvenţa.

Elementul Voigt-Kelvin nu poate explica relaxarea efortului la deformaţie constantă, deoarece în ecuaţia (26) pentru $\varepsilon = \text{const.}$ se obţine $\sigma = \text{const.}$, ceea ce nu înseamnă relaxare.

c.) Deoarece modelele precedente nu reflectă decît parţial proprietăţile reale ale metalelor, s-au căutat soluţii noi şi generalizări abordate pe diferite căi. Dintre rezultatele cele mai remarcabile amintim aici generalizarea ecuaţiilor precedente sub forma :

$$a_0\sigma + a_1\dot{\sigma} + a_2\ddot{\sigma} + \ldots = c + b_0\varepsilon + b_1\dot{\varepsilon} + b_2\ddot{\varepsilon} + \ldots, \tag{33}$$

ea fiind tot liniară, dar cu derivate de ordin superior.

În foarte multe cazuri satisface mulţumitor un caz particular al acestei ecuaţii, propusă de Cl. Zener :

$$a_0\sigma + a_1\dot{\sigma} = b_0\varepsilon + b_1\dot{\varepsilon}. \tag{34}$$

Corpul, a cărui comportare este descrisă de ecuaţia (34), se numeşte *„corp standard linear"*.

În scopul interpretării fizice a coeficienţilor se dovedeşte mai utilă scrierea :

$$\sigma + \tau_\varepsilon\dot{\sigma} = M_R(\varepsilon + \tau_\sigma\dot{\varepsilon}). \tag{35}$$

În această ecuaţie constantele τ_ε, τ_σ şi M_R au semnificaţiile deja cunoscute, dar ele pot fi obţinute din nou prin particularizarea ecuaţiei.

Ecuaţia corpului standard linear ne oferă posibilitatea de a stabili o legătură între modulele elastice şi timpurile de relaxare. O vom scrie sub forma :

$$\sigma dt + \tau_\varepsilon d\sigma = M_R\varepsilon dt + M_R\tau_\sigma d\varepsilon$$

şi o vom integra în cazul cînd într-un interval de timp foarte scurt ($t \to 0$) efortul variază de la 0 la σ_0, iar deformaţia de la 0 la ε_0.

$$\int_0^t \sigma dt + \tau_\varepsilon \int_0^{\sigma_0} d\tau = M_R \int_0^t \varepsilon dt + M_R \tau_\sigma \int_0^{\varepsilon_0} d\varepsilon.$$

Aplicînd teorema mediei primilor termeni din ambii membri şi ţinînd cont că $t \to 0$, aceştia se vor anula, deci :

$$\tau_\varepsilon \sigma_0 = M_R \tau_\sigma \varepsilon_0.$$

Dar în condiţiile enunţate σ_0/ε_0 este modulul de elasticitate instantaneu, aşa că :

$$\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} = M_I = M_R \frac{\tau_\sigma}{\tau_\varepsilon}$$

de unde :

$$\frac{M_I}{M_R} = \frac{\tau_\sigma}{\tau_\varepsilon} \tag{36}$$

Deoarece întotdeauna $M_I > M_R$, vom avea de asemenea : $\tau_\sigma > \tau_\varepsilon$

În continuare vom calcula frecarea internă a corpului standard linear, cînd el efectuează oscilaţii cuasiarmonice (23). Înlocuind aceste valori în (35), obţinem :

$$\sigma (1 + i\omega\tau_\varepsilon) = M_R \varepsilon (1 + i\omega\tau_\sigma)$$

Raportul σ/ε este modulul complex de elasticitate :

$$\mu = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{1 + i\omega\tau_\sigma}{1 + i\omega\tau_\varepsilon} M_R = \frac{1 + \omega^2\tau_\sigma\tau_\varepsilon + i\omega(\tau_\sigma - \tau_\varepsilon)}{1 - \omega^2\tau_\varepsilon^2} M_R \tag{37}$$

conform cu (15) vom avea :

$$Q^{-1} = \frac{\omega(\tau_\sigma - \tau_\varepsilon)}{1 + \omega^2\tau_\sigma\tau_\varepsilon} \tag{38}$$

Funcţia (38) prezintă un maxim pentru :

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{\tau_\sigma\tau_\varepsilon}}$$

sau notînd :

$$\tau = \sqrt{\tau_\sigma\tau_\varepsilon}$$

pentru

$$\omega\tau = 1. \tag{39}$$

Deoarece în majoritatea cazurilor la metale efectele de relaxare sînt destul de mici, putem lua aproximativ $M_I = M_R$, şi conform relaţiei (36), $\tau_\sigma = \tau_\varepsilon = \tau$.

Uneori este convenabil ca (38) să fie pus sub altă formă. În acest scop folosim (36) :

$$\tau_\sigma^2 = \tau_\sigma\tau_\varepsilon \frac{M_I^2}{M_I M_R}$$

sau :

$$\tau_\sigma = M_I \sqrt{\frac{\tau_\sigma \tau_\varepsilon}{M_I M_B}} = M_I \frac{\tau}{M}.$$

unde

$$M = \sqrt{M_I M_B}.$$

În acelaşi fel găsim :

$$\tau_\varepsilon = M_R \frac{\tau}{M}.$$

Cu aceste valori (38) ia forma :

$$Q^{-1} = \frac{M_I - M_R}{M} \frac{\omega\tau}{1+\omega^2\tau^2} \tag{40}$$

sau, notînd :

$$\Delta = \frac{M_I - M_R}{M},$$

găsim :

$$Q^{-1} = \Delta \frac{\omega\tau}{1+\omega^2\tau^2} \tag{41}$$

Relaţia (39) ne arată că maximul de frecare internă a corpului standard linear se obţine atunci cînd perioada oscilaţiilor este de acelaşi ordin de mărime cu timpurile de relaxare. De remarcat că în determinarea experimentală $Q^{-1} = Q^{-1}(\omega\tau)$ se întîlnesc de regulă mai multe maxime. Ele se datoresc unor cauze fizice diferite, provenind de la diferite procese la scară atomică.

Obţinerea directă a curbei de variaţie a frecării interne în funcţie de frecvenţă prezintă dificultăţi foarte mari din punct de vedere tehnic, dacă gama frecvenţelor este largă. De aceea se utilizează de obicei o metodă indirectă, care se bazează pe dependenţa frecării interne de produsul $\omega\tau$. În loc de a varia pe ω cu τ constant, se modifică τ cu mulţimea constantă a lui ω. Dar τ depinde de temperatură conform unei relaţii de tip Arrhenius :

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{H}{RT}} \tag{42}$$

unde H este energia de activare a procesului responsabil de relaxare. Relaţia (42) permite trasarea curbei $Q^{-1} = f(\tau) = g(T)$ în condiţii experimentale simple, curba prezentînd şi ea un maxim în funcţie de temperatură.

(urmare în numărul viitor)

OBȚINEREA MACROMONOCRISTALELOR DE ALAUN

Dr. *S. COSMA*, conf. univ. I.C.P.P.D. Filiala Timișoara

Precum se știe, alaunii sînt sulfați dubli ai unui metal monovalent și unui metal trivalent, cristalizați cu 12 molecule de apă, în sistemul cubic și anume în octaedri regulați, sau, mai rar, în cristale cubice, — în mediu alcalin — (1). Prin urmare toți alaunii prezintă fenomenul de izomorfie.

Primul alaun cunoscut a fost sulfatul dublu de potasiu și aluminiu, numit alaun ordinar și care a dat și denumirea generală de alaun tuturor sulfaților dubli ce corespund formulei generale :

$$M^{I}M^{III}(SO_4)_2 \cdot 12H_2O,$$

în care

$$M^{I} = Na^{+}, K^{+}, Rb^{+}, Cs^{+}, NH_4^{+}, Tl^{+};$$

$$M^{III} = Al^{3+}, Ga^{3+}\ In^{3+}, Tl^{3+}, V^{3+}, Cr^{3+}, Fe^{3+}, Co^{3+} \quad (2)$$

Cel mai cunoscut și important este alaunul ordinar, numit și piatra acră, considerat ca reprezentantul alaunilor. Acesta se obține cristalizat în octaedri, din soluția amestecului echimolecular de $K_2SO_4.6H_2O$ și $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$

Acest alaun este solubil în apă și solubilitatea crește cu temperatura dizolvantului, după cum indicăm în tabelul următor (3) :

T°C	0°	15°	30°	60°	92,5°	100°
în 100 g apă	2,95	5,04	8,4	24,8	119,5	154

Din soluția alaunului ordinar am reușit să obțin macromonocristale octaedrice cu fețe poligonale, și nu triunghiulare ca în cazul alaunului obișnuit, cunoscut.

În cele ce urmează descriem procedeul obținerii unor astfel de cristale : preparăm o soluție suprasaturată de alaun la temperatura de fierbere, ținînd seama de solubilitățile arătate în tabelul de mai sus. În acest scop dizolvăm cca 30 g alaun în 100 g apă și încălzim pînă la fierbere. Se filtrează încă fierbinte și filtratul îl introducem într-un cristalizor corespunzător, pe care îl așezăm pe o consolă acoperită, temperatura mediului ambiant fiind în continuu de 25—26°C.

Soluția de alaun răcindu-se treptat, la temperatura de 25° devine suprasaturată și după 10—12 ore de ședere (peste noapte) se depun cristale mici numeroase, vizibile cu ochiul liber. Cu o pensetă se aleg 3—4 cristale pe care le transplantăm într-un alt cristalizor, umplut cu același fel de soluție preparată anterior. Cristalizorul îl așezăm pe consolă și-l lăsăm pînă a doua zi. Observăm că cele 3—4 cristale separate unele de altele, au crescut, dar s-au mai depus multe mici cristale. Cu o pensetă se prevalează cele 3—4 cristale, așezate anterior în cristalizor, pe care le transplantăm din nou în alt cristalizor ce conține și de data aceasta solu-

ție de alaun preparată în modul amintit. Și acum se culege prin filtrare soluția -mamă. Această operație se repetă în fiecare dimineață, timp de aproape 2—3 luni de zile, avînd grijă ca temperatura mediului ambiant să rămînă constantă (25—26°C) în tot acest interval de timp. Adeseori se observă că pe unele macromonocristale cresc cristale mici. În acest caz, cînd se face transplantarea în alt cristalizor, se spală cristalul mare cu soluție, cu mîna curată, ușor, pînă ce se desprinde cristalul „sălbatic" și apoi se introduce în cristalizor pregătit cu soluție, așezînd macromonocristalul cu fața de pe care s-a îndepărtat cristalul sălbatic, în sus. Se înțelege că pe măsură ce macromonocristalul a crescut, volumul soluției de alaun trebuie să fie mai mare, astfel ca să acopere în întregime cristalul și să-l depășească. Cristalizorul se așează pe o consolă acoperită în scopul de a feri soluția de praf și de eventuala atmosferă încărcată cu vapori acizi sau amoniac, frecventă de obicei în laboratoarele de chimie. Locul gol de unde s-a scos așa numitul cristal sălbatic de pe macromonocristal, se umple din nou, prin depunere ulterioară de masă cristalină. După aproximativ două sau trei luni de zile, timp în care macromonocristalul s-a dezvoltat, îl scoatem definitiv din soluție și îl spălăm repede pe toate fețele cu apă distilată, îndepărtînd cu mîna curată eventualele cristale mici sălbatice de pe fețele macromonocristalului. Pe urmă, se usucă cristalul cu un tifon curat sau cu hîrtie de filtru, prin tamponare, fără a freca fața cristalului. În felul acesta obținem un macromonocristal transparent.

Eventual timpul de creștere a monocristalului, s-ar putea prelungi peste 3 luni de zile, dar în acest caz trebuie să-l spălăm totodeauna cu soluție apoasă de alaun, de mai multe ori, pentru a evita depunerea de microscristale sălbatice.

Descrierea macromonocristalului. După un examen preliminar, macromonocristalul prezintă următoarele caracteristici : am reușit să obțin mai multe macromonocristale, după procedeul amintit mai sus, și cîntărindu-le am constatat că fiecare are greutatea variind între 30—50 g : 53 g, 50 g, 45 g, 45 g, 32 g, 30 g, 28 g. Macromonocristalul prezintă un centru de simetrie și o singură axă de simetrie digonală. Două fețe din planul axei de simetrie sînt poligonale și anume, un hexagon rezultat dintr-un triunghi echilateral cu cele trei vîrfuri înlocuite printr-o muche scurtă. Celelalte fețe opuse celor dintîi au forma unui trapez cu baza inferioară, relativ îngustă. Desigur că descrierea amănunuțită din punct de vedere cristalografic trebuie să fie mai completă dar va face obiectul unei alte Note.

Observații. Macromonocristalul obținut în urma acestei cercetări reprezintă o formă cristalină puțin obișnuită și probabil din cauza condițiilor speciale în care am preparat soluția, condiții arătate mai sus. Acest macromonocristal poate reprezenta un mijloc intuitiv de a înfățișa elevilor însuși cristalul, cînd se predau cunoștințele despre alaun. De asemenea credem că e potrivit a se organiza în cadrul cercului de chimie lucrări practice cu tema „Obținerea macromonocristalelor de alaun", obișnuindu-i să urmărească fenomenul zi cu zi și să se deprindă cu cultivarea acestor cristale. În acest fel noțiunea de cristal și cristalizare se fixează și se consolidează temeinic. Paralel, se pot cultiva cristale octaedrice de alaun obișnuit sau cristale de altfel.

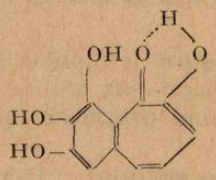
BIBLIOGRAFIE

1. *Sieffert* — Neus Hamburg Magazin, 163—1772
2. *Ripan-Ceteanu* — Chimia metalelor I, Ed. didactică și pedagogică, 1967, p. 323.
3. *Remy* — Lehrbuch der anorganisschen Chemie, Band I, 9 — Auflage, 1957, p. 432.

REACȚII DE CULOARE ALE PURPUROGALINEI

Chimist *I. J. VASILESCU*, Făgăraș.

În clasa tropolonelor, compuși aromatici non-benzenoizi, purpurogalina, un derivat al 3, 4-benzotropolonei, (1) este compusul cel mai accesibil. Purpurogalina este o trioxibenzotropolonă cu formula structurală :



care se obține relativ ușor prin oxidarea pirogalolului cu o mare diversitate de agenți oxidanți (2).

Încă din perioada primelor lucrări asupra purpurogalinei s-au descris mai multe dintre reacțiile ei calitative în majoritate bazate pe reacționabilitatea hidroxililor fenolici. Aceste reacții servesc al identificarea purpurogalinei și pot constitui în principiu baza unor metode colorimetrice pentru determinarea ei. În ultima vreme testele de culoare cu cationi metalici au fost adaptate pentru dozarea și separarea unor elemente.

Din anul 1870 cînd a fost preparată de Girard (3) numai două lucrări datorite lui Struve și Herzig (4,5) s-au ocupat în principal cu analitica purpurogalinei. Din literatura mai veche se pot cita următorele observații asupra comportării purpurogalinei în reacții calitative. Struve (4) observa că purpurogalina reduce soluțiile sărurilor de aur, argint și cupru, comportare caracteristică di și trifenolilor care sînt ușor oxidabili. Ea se dizolvă în acid sulfuric concentrat și dă o colorație roșie-oranj iar în prezența urmelor de acid azotos dă o colorație violet intens trecătoare (6). Purpurogalina dă o sare de bariu greu solubilă. Cu amoniac o colorație violetă iar cu NaOH sau KOH o colorație albastră. Prin alte reacții de oxidare purpurogalina formează produși puternic colorați amintind chinhidronele. Oxidarea cu permanganat de potasiu conduce la o metodă de determinare volumetrică a purpurogalinei cu $KMnO_4$ și H_2SO_4 (7, 8, 9).

Doi autori indieni, Ramana Rao şi Guha Sircar (10) s-au ocupat în anul 1956 cu reacţiile de culoare ale purpurogalinei cu soluţii de săruri ai unor metale bivalente în diferite condiţii de pH. Complecşii coloraţi caracteristic se pot folosi la identificarea în spot a Bi, Sn, Al etc. După Bévillard (11, 12, 13) purpuroglina este un reactiv specific al germaniului pentru care s-au instituit noi metode de dozare colorimetrică. Alimarin şi colaboratorii (14) au propus o metodă de dozare colorimetrică a zirconiului bazată pe măsurarea extincţiei unui complex colorat roşu cu purpurogalina. Acelaşi autor artă că purpuroglina dă de asemenea reacţii cu Ba, Ga, Ti, In, Sn, şi cu pămînturile rare. Alte reacţii calitative se aplică la identificarea purpurogalinei şi a altor tropolone înrudite după metode puse la punct de Roberts şi Oldschool (15) sau mai recent de Burke, Potter şi Parkhurst (16).

Utilizarea purpurogalinei ca reactiv în chimia analitică se extinde şi este de aşteptat să apară alte aplicaţii faţă de interesul manifestat în acest domeniu, în ultimul timp, dar în prezent reacţiile calitative de culoare ale purpurogalinei apar ca insuficient studiate.

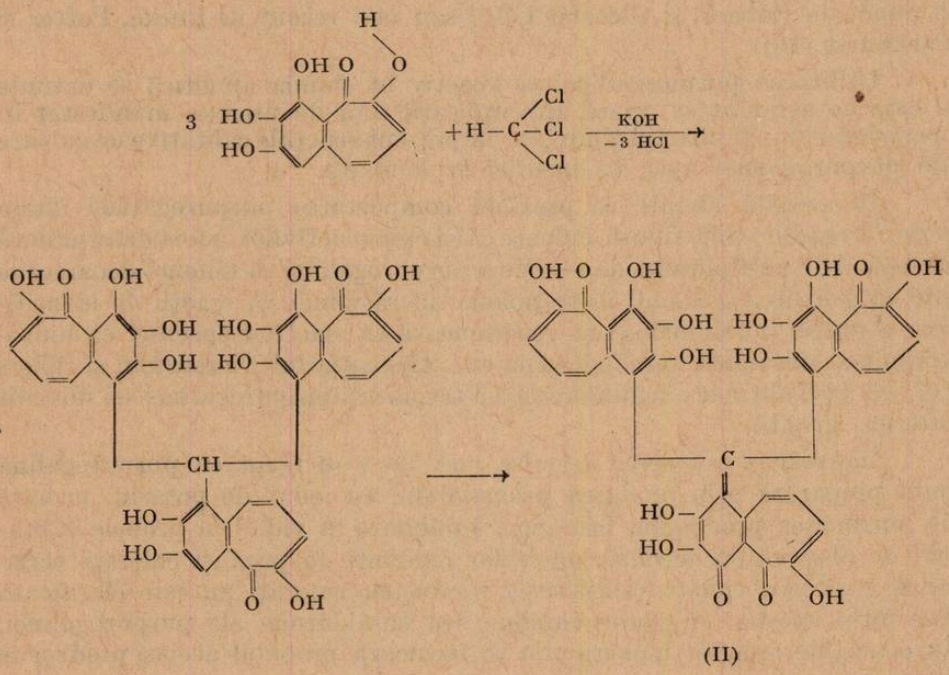
În această lucrare se prezintă comportarea purpurogalinei într-o serie de reacţii calitative de culoare. Alegerea reactivilor a fost determinată în special de posibilitatea de reacţie a purpurogalinei ca trifenol deoarece se ştie că gruparea carbonil în tropolone nu răspunde la reacţii de identificare a grupei funcţionale şi nu reacţionează cu reactivii specifici ca hidroxilamina, hidrazina, fenilhidrazina etc. Afirmaţia lui Nierenstein şi Spiers (17) că ar fi obţinut o fenilhidrazină a tetraacetilpurpurogalinei s-a dovedit ulterior greşită.

Încercările calitative descrise mai jos s-au făcut cu purpurogalină pură preparată prin oxidarea pirogalolului cu iodat de potasiu, urmată de purificarea produsului brut prin sublimare în vid. Din probele calitative se observă că acţiunea agenţilor oxidanţi dă produşi coloraţi verzi-brun, roşii sau violeţi. Constituţia produşilor coloraţi nu este clarificată dar între aceştia se găsesc chinone sau chinhidrone ale purpurogalinei. În condiţiile reacţiei Liebermann se formează probabil aceiaşi produşi de oxidare.

Deşi, aşa cum s-a menţionat, nu se cunosc reacţii specifice grupării carbonilice, aceasta fiind mascată în tropolone în condiţiile descrise în partea experimentală identificarea purpurogalinei apare posibilă prin proba Janovski. În mediu de dioxan, m-dinitrobenzenul dă coloraţii roşii intens cu purpurogalina. în prezenţa hidroxidului de sodiu. În favoarea formării complexului Janovski (rezultat probabil prin adiţia nucleofilă a anionului de purpurogalină la dinitroderivatul aromatic) pare să vină şi faptul că o şi p-dinitrobenzenul nu reacţionează în condiţii similare prin aceea că aceştia din urmă nu dau în mod curent reacţia Janovski iar coloraţiile verzi brune, necaracteristice, care se obţin în acest caz, par mai degrabă rezultatul oxidării purpurogalinei cu dinitroderivaţii amintiţi, care ca şi nitrobenzenul au acţiune oxidantă.

Un interes deosebit au reacţile purpurogalinei cu cloroform şi hidroxizi alcalini. Dintre acestea, într-o altă lucrare (18) s-a propus o reacţie

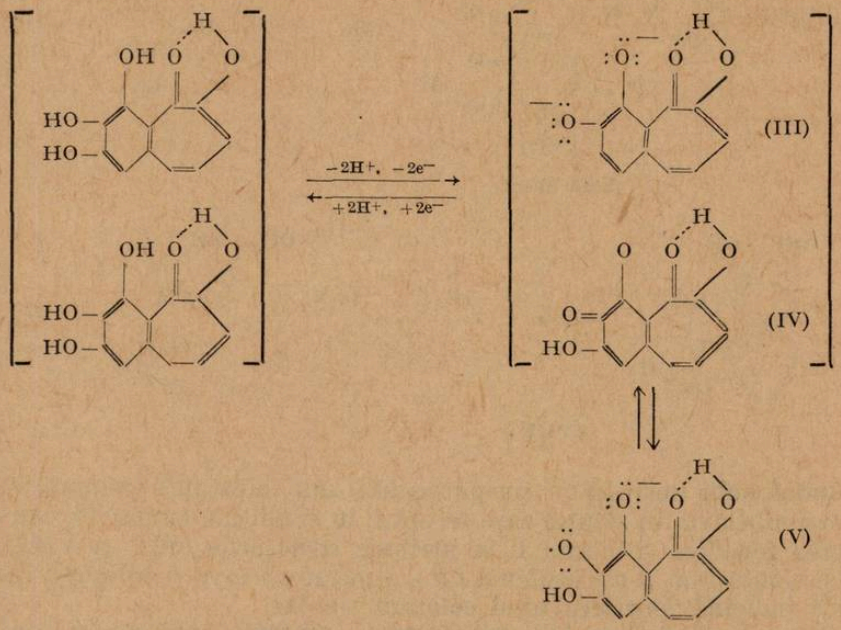
microchimică care se bazează pe formarea unei colorații albastre la tratarea purpurogalini cu o soluție de hidroxid de potasiu 5% în prezența cloroformului, care mărește sensibilitatea reacției. Ea atinge o limită de identificare de 0,25 γ. Deoarece reacția are loc în condiții analoage formării aurinei s-a crezut inițial că structura colorantului albastru este similară coloranților de tipul aurinei sau benzaurinei derivați ai fucsonei. S-a presupus că structura colorantului albastru sus menționat este a unei colorant de tip triarilmetanic cu nuclee benzotropolonice (II), format după schema clasică a aurinei :



(II)

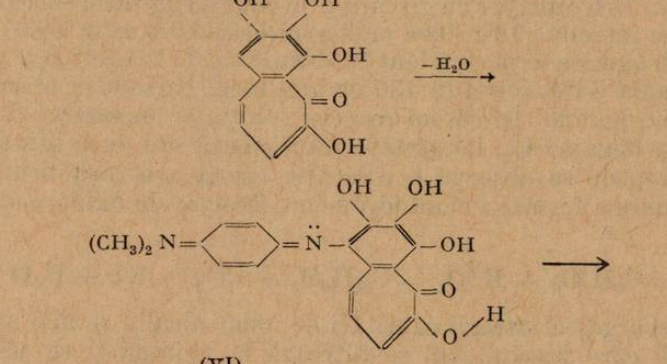
Aparent experiențele calitative descrise în partea experimentală a lucrării pledează pentru formularea (II) pentru că același colorant se poate obține și înlocuind cloroformul cu acid formic, respectiv cu precursori ai acestora de exemplu cu acid oxalic sau cu acid tricloracetic. Coloratia albastră are și alte proprietăți amintind coloranții triarilmetanici. Ea virează în prezența acizilor organici de la albastru la violet,pînă la roz și se reduce ușor cu pulbere de zinc și acizi minerali diluați sau numai cu praf de zinc. S-a arătat însă că rolul cloroformului este numai de a mări sensibilitatea reacției. Coloratia albastră apare în condiții foarte variate și este aproape indiferentă de natura solventului. Ea apare și numai în prezența alcaliilor iar colorantului albastru i se atribuie (18) structura unui radical-anion chinoid care apare prin transferul unui electron de la dianionul purpurogalinei (III) la orto-chinona (IV) corespunzătoare, aceasta

din urmă formîndu-se cu uşurinţă prin oxidarea purpurogalinei în mediu alcalin :



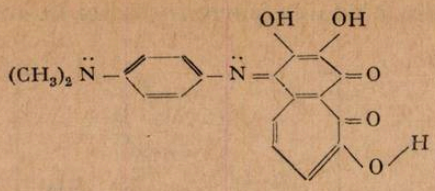
Prezenţa electronului singuratic în radicalul ion (V) trebuie să fie identificabilă prin măsurători de susceptibilitate magnetică. Printr-un efect de rezonanţă electronul impar face parte dintr-un sistem de orbitali moleculari extinşi. Reacţia purpurogalinei cu acetat de plumb conduce la un precipitat roşu-cărămiziu şi are loc aproape cantitativ. Ea este caracteristică trifenolilor vicinali (19).

Prin acţiunea p-nitrozodimetilanilinei sau a diclorchinonclorimineiasupra purpurogalinei în condiţiile descrise mai jos se obţin coloraţii caracteristice formării unor coloranţi de tipul indaminelor sau indofenolilor conform schemelor următoare :



(VI)

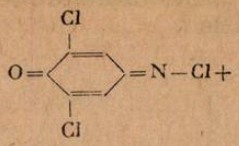
(sarea indaminei)

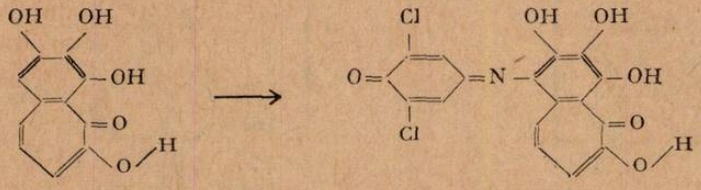


(VII)

(bază liberă)

(1);





(VIII)

(2);

Indofenolii derivaţi ai purpurogalini sînt substanţe colorate verzi sau verzi-albăstrui în soluţie care se obţin în condiţiile cunoscute la recunoaşterea fenolilor şi cărora li se atribuie structurile (VII şi VIII). În aceleaşi condiţii cu p-nitrozofenol nu s-a putut observa o coloraţie caracteristică indicînd formarea unui colorant similar.

Ca şi piroglolul cu hidroxili vicinali, purpurogalina nu se condensează la ftaleine fluorescente. Alte reacţii calitative caracteristice fenolilor simpli ca reacţia Millon, cuplarea azoică, (cu benzidină tetrazotată) sau polifenolilor (ca reacţia fluoronelor) n-au dat rezultate semnificative cu purpurogalina. Reacţiile de formare a fluoronelor cu aldehide aromatice (benzaldehidă, p-dimetilaminobenzaldehidă, o-oxibenzaldehidă, furfurol etc) nu sînt semnificative şi ca urmare a faptului, că, în urma neutralizării produsului de condensare, purpurogalina rămasă în amestecul de reacţie formează cu hidroxizii alcalini radicalul-ion albastru care maschează rezultatul testului.

Descrierea experienţelor

Purpurogalina. $C_{11}H_8O_5$. S-a sintetizat după Evans şi Dehn (20). Într-un flacon Erlemmayer cu gît larg prevăzut cu agitator mecanic şi pîlnie de picurare se introduc 10 g (0,08 moli g) pirogalol dizolvat în 30—35 cc apă distilată. Sub agitare se picură lent în decurs de 11/2 ore 8,6 g (0,04 moli) iodat de potasiu KIO_3 solvit în 130 cc apă rece. În soluţia oranj precipită treptat purpurogalina. În cursul reacţiei soluţia se încălzeşte de la sine la 35—40°C şi se degajă CO_2. La agitare insuficientă sau dacă soluţia de iodat curge prea repede se observă o coloraţie trecătoare roşie-brun închis sau verde ca urmare a formării chinhidronelor. Reacţia de oxidare are loc după ecuaţia :

$$2\ C_6H_6O_3 + KIO_3 = C_{11}H_8O_5 + CO_2 + KI + H_2O$$

După scurgerea întregii cantităţi de iodat alcalin se mai agită cca 10 minute după care precipitatul se filtrează la trompă şi se usucă la aer între hîrtii de filtru timp de 3—4 zile. Se obţin 6,3 g purpurogalină brută sub forma unei mase cafenii amorfe. Randament = 70%.

Purificarea purpurogalinei. Pentru purificarea produsului brut s-a folosit un aparat de sublimare în vid care constă dintr-o epurubetă largă (Ø = 50 mm) cu tub lateral pentru vid și un „deget" de răcire îmbinat cu șlif, prevăzut cu circulație de apă rece. Prodsul uscat se sublimă în vacuum (cca 6 mm col. Hg) pe baie de ulei mineral. Se obțin ace lungi roșii-oranj care se topesc la 276 °C (cu desc.) insolubile în apă, ceva mai solubile în alcool eter și acetonă, solubile în dioxan, piridină și dimetilformamidă.

p-Nitrozofenolul și *p-Nitrozodimetilanilina* s-au sintetizat prin nitrozarea fenolului și a dimetilanilinei după rețete din literatură (21) urmată de purificare.

Reacția purpurogalinei cu agenți oxidanți

1. *Oxidarea cu MnO_2 și acid sulfuric.* În 2 ml acid sulfuric conc. și cca 5 mg bioxid de mangan se introduce un cristal de purpurogalină. După agitare apare imediat o colorație violetă.

2. *Oxidarea cu clorură ferică.* Cîteva miligrame de purpurogalină în 2 ml alcool etilic se încălzesc cu cîteva picături soluție de clorură ferică (2%). Apare o colorație *verde-brună*. Același rezultat se obține cu gericianură de potasiu în soluție de dimetilformamidă.

3. *Oxidarea cu aer.* O soluție concentrată de purpurogalină într-un hidroxid alcalin se barbotează cu aer. Se formează colorații trecătoare, *portocalii*, *brune-verzui* sau *indigo* care denotă formare de chinhidrone (9).

4. O suspensie sau o soluție de purpurogalină în apă, apă-dioxan sau dioxan nu este oxidată la rece de cloramina T sau persulfatul de amoniu în mediu acid.

Reacții Liebermann

1. După A.H.Ware (22). Cîteva miligrame de purpurogalină într-o suspensie de aid clorhidric diluat se tratează cu cîteva picături dintr-o soluție concentrată de nitrit de sodiu. Apar colorații *roșii-violet* trecătoare.

2. După Liebermann. Dacă se introduc cîteva cristale de purpurogalină în 2—3 ml soluție 5% de nitrat de sodiu în acid sulfuric conc. apare o colorație *violet* care la diluare cu apă distilată trece în galben.

3. După A. Castiglioni (23). Colorațiile obținute cu nitrat de sodiu 20% sînt semnificative. La rece reacție nu are loc. La încălzirea purpurogalinei cu soluția de nitrat apar colorații *verzi-brune* care după adaos de NaOH 10% trec în *roșu-brun*.

4. O suspensie de purpurogalină și apă distilată alcalinizată cu hidroxid de potasiu, tratată cu o soluție de nitroprusiat de sodiu dă o colorație *verde* care trece apoi în *roșu-intens*.

5. Peste 2—3 mg purpurogalină și aceeași cantitate de nitroprusiat de sodiu în 0,75 ml dioxan se adaugă cca 2 ml apă și se agită energic. Se formează un precipitat *fin galben*. Dacă în eprubetă se introduc cu atenție 1—2 picături de H_2SO_3 conc. la suprafața de separare se formează un *inel brun*.

Reacția de culoare în condițiile testului Janovski

1. Se introduc cca 5 ml de m-dinitrobenzen în 1,5—2 ml dioxan și 6—8 mg purpurogalină. Prin adaosul a 2—3 picături de NaOH (10%) apare imediat o colorație *roșie-intens*. În aceleași condiții *o* și *p*-dinitroben-

zenul dau colorații *verzi-brune* uneori violet trecătoare care trebuiesc atribuite oxidării purpurogalonei cu formarea unor amestecuri complexe de chinone de tipul purpurogalochinonei sau chinhidronelor.

Reacții cu cloroform și hidroxizi alcalini

1. Într-o microeprubetă se pun 1—2 picături de cloroform peste care se adaugă cca 2 ml dintr-o suspensie apoasă de purpurogalină (cca 5 mg) și 2—3 picături de soluție KOH (20%). Se formează o colorație *albastră-pură* foarte frumoasă, datorită apariției unui radical-anion colorat (18). La ședere coloratia trece treptat în *verde* apoi final în *galben*. Dacă se diluează imediat soluția albastră inițială cu multă apă distilată sau la adaosul unui exces de hidroxid alcalin soluția trece imediat în *verde intens*.

2. Circa 2,5 ml din soluția albastră a colorantului de mai sus se tratează cu cîteva picături de acid acetic sau de acid mineral diluat. Coloratia virează de la *albastru* la *violet* pînă la *roz*.

3. Reducerea colorantului (V) cu zinc și acid acetic. În soluția colorantului (V) (2—3 ml) se introduc cîteva miligrame de zinc și 3—5 picături de acid acetic glacial. Soluția se decolorează. Reducerea are loc și prin simplă încălzire a soluției de colorant cu praf de zinc.

4. În 0,75 ml acid formic se introduc cîteva miligrame de purpurogalină și 2 picături de H_2SO_4 conc. După încălzire ușoară soluția roșie formată se alcalinizează. Se obține o colorație albastră a colorantului(V).

5. Se introduc cca 10 mg acid oxalic în 0,75 ml acid sulfuric conc. și cîteva cristale de purpurogalină. Conținutul eprubetei se încălzește ușor apoi se trece peste 2—3 ml de apă și se neutralizează cu un exces de soluție KOH apos 20%. Se obține aceeași colorație *albastră* care la ședere sau cu un exces de hidroxid alcalin ca și în încercrile precedente își schimbă nunața în *verde*.

6. Cîteva cristale de acid tricloracetic (cca 10—15 mg) se dizolvă în 2 ml apă, se adaugă aprox. 5 mg purpurogalină și se încălzește ușor cu flacara unui bec de gaz. Soluția galben deschis se alcalinizează cu atenție cu KOH. Se obține același radical anion colorat (V) și nu colorantul triarilmetanic (II).

7. O altă reacție specifică de culoare se execută în modul următor : circa 5 mg purpurogalină se dizolvă în 1—2 cca piridină și se adaugă cca 0,5 ml cloroform. Prin adaos de NaOH (soluție 10%) se formează 2 straturi colorate. Stratul superior se colorează în *violet* iar stratul inferior în *roșu-închis*.

Reacția cu H_2SO_4 și HCHO. 3—5 mg purpurogalină, 2—3 ml H_2SO_5 picături HCHO (sol. 40%) dau la încălzire ușoară o colorație *roșie-intens*, care la adaos de hidroxizi alcalini trece în *verde*.

Reacția cu anhidridă ftalică și H_2SO_4 Incălzînd ușor un amestec format din părți egale (3—5 mg) purpurogalină și anhidridă ftalică cu 0,5 ml acid sulfuric se obține o colorație *roșie vie*. Dacă se toarnă amestecul peste aceeași cantitate de apă rece se obține un *precipitat portocaliu*. La alcalinizare și diluare produsul nu arată fluorescență ci numai coloratii verzi-brun.

Reacția cu acetat de plumb. La amestecarea unei soluții concentrate fierbinți de purpurogalină în alcool (cca 3 mg purpurogalină în 2 ml alcool etilic), cu o soluție apoasă concentrată de acetat de plumb se obține un precipitat fin *roșu-cărămiziu*, probabil al unui purpurogalat bazic de plumb. Reacția are loc aproape cantitativ fiindcă lichidul supernatant, rămîne incolor după formarea precipitatului.

Formarea de coloranți indofenolici. 1. Reacția cu p-nitrozodimetilanilină. În 2 ml apă distilată se pun cca 5 mg purpurogalină, 3 mg p-nitrozodimetil-anilină și 2-3 picături de acid clorhidric conc. Soluția se încălzește ușor, apoi se toarnă într-un pahar mic peste 5—6 ml soluție de hidroxid alcalin (NaOH 10%). Apare o colorație *verde*. O probă martor fără purpurogalină menține în aceleași condiții colorația inițială pală-galben-verzuie. Experiența indică formarea colorantului de tip indofenolic (VII).

2. Reacția cu diclorchinonclorimină. (După H.D. Gibbs) (24). Într-o microeprubetă se introduc cca 1,5—2 ml dimetilformamidă, cîteva miligrame de purpurogalină și aprox. aceeași cantitate de diclorchinonclorimină suspendată în 0,5—0,75 ml de apă distilată. Adăugînd 2—3 picături soltie apoasă de tetraborat de sodiu (Borax 2%) se formează o colorație *albastră-verde* a unui colorant indofenolic a cărui structură corespunde formulării (VIII).

BIBLIOGRAFIE

1. *C. D. Nenițescu* — Chimie organică, vol. 2 Editura didactică și pedagogică Buc. 1968, p. 325
2. *P. Pauson*, Chemical Reviews *1955*, p. 108.
3. *Aime Girard*, Zeitschr. f. Chem. *1870*, 86.
4. *H. Struve*, Annalen. *163*, 165 (1869)
5. *J. Herzig*, Annalen *432*, 111 (1923)
6. *S. C. Hooker*, Ber. dtsch. Chem. *20*, 3260
7. *R. Willstaeter* și *A. Stoll* Annalen 416, 21 (1917—1918)
8. *A. Bach* și *I. Sbarski*, Biochem. Zeitschr. *34*, 475.
9. *R. Willstäter* și *H. Heiss* Annalen *433*, 17, (1923)
10. *D. V. Romana Rao* și *S. S. Guha Sircan* J. Proc. Inst. Chemists (India) *28*, 238 (1956) C. A. *51*, (1957) 14.467 i.
11. *A. Tsachirian* și *P. Bvéillard*, Compt. rend *233*, 256 1112 (1951)
12. *P. Bévillard*, Mikrochim. *39*, 209 (1952)
13. *P. Bévillard*, Bull. Soc. Chim. France *1954*, 307
14. *I. P. Alimarin*, *I. V. Pușdrenkova* și *S. I. Dolnicova* Jurn. Analit. Himii *17*, 700 (1962).
15. *E. A. H. Roberts* și *M. Oldschool* Chem. and Ind. 1958, 99 C. Z. *1962*, 8237
16. *W. J. Burke*, *A. D. Potter* și *R. M. Parkhurst* Analyt. Chem. *32*, 727, (1960).
17. Citat după : *J. A. Baltrop* și *J. S. Micholson*, J. Chem. Soc. *1948*, 116.
18. *I. J. Vasilescu*, lucrări nepublicate.
19. *F. Albert* și *C. Greff* „Analiza chimică organică", Editura tehnică Buc. 1962, p. 190.
20. *T. W. Evans* și *W. M. Dehn*, J. Amer. Chem. Soc. *52*, 3647 (1930)
21. *H. Sanielevici* și *L. Floru* „Sinteza intermediarilor aromatici și a coloranților", Edit. Tehnică, Buc. 1965 pag. 49.
22. *A. H. Ware*, Zeit. f. anal. Chem. *78*, 233 (1929)
12. *A. Castiglioni*, Zeit. f. anal. Chem. *90*, 427 (1932)
24. *H. D. Gibbs*, J. biol. Chem. *72*, 649 (1927).

CE SINT ȘI CE ROL AU MĂRIMILE FIZICE?

Prof. MARIA PETRESCU—PRAHOVA, București

1. Mărimi fizice

1.1. **Specii de proprietăți ordonabile.** Studiul științific al naturii urmărește să descopere legile de desfășurare ale fenomenelor din sistemele materiale. Cunoașterea acestor legi permite prevederea evoluției feno-

menelor şi aplicarea lor în practică. Este necesar deci ca legile naturii să fie exprimate într-o formă cît mai sintetică. Acest lucru este realizabil cu ajutorul matematicii : relaţiile matematice condensează în cîteva simboluri şi relaţii între ele, un conţinut extrem de bogat. De aceea, relaţiile matematice constituie cea mai avantajoasă formă de exprimare a legilor naturii.

Dar, pentru a stabili relaţii cantitative, pentru a descrie matematic stările şi procesele din natură, este necesar să se definească noţiuni, care să permită matematizarea, simbolismul matematic ; astfel de noţiuni sînt *mărimile fizice*. Ce înseamnă mărimi fizice ? Cum se definesc ele ? Pentru a răspunde la aceste întrebări, vom porni de la cîteva observaţii făcute în decursul unor experienţe.

Să presupunem că studiem proprietăţile unui grup de obiecte diferite. Constatăm că ele au diferite culori, diferite forme. Mai observăm că dacă se acţionează identic din exterior asupra acestor obiecte, ele se opun diferit la schimbarea stării lor de mişcare, adică au inerţie diferită. Am găsit deci *trei specii de proprietăţi* ale acestor corpuri ; culoare, formă, inerţie. Roşu, negru, albastru, etc., reprezintă proprietăţi distincte ale speciei de proprietăţi culoare. Între aceste proprietăţi nu se pot stabili relaţii de echivalenţă (relaţii de tipul : „roşul este la fel de colorat cu albastrul") şi nici relaţii de ordonare (relaţii de tipul : „roşul este mai colorat decît albastrul) Specia de proprietăţi *formă* se asemănă din acest punct de vedere cu specia de proprietăţi *culoare* : nici între formele corpurilor nu se pot stabili relaţii de echivalenţă şi nici relaţii de ordonare. În ceea ce priveşte specia de proprietăţi *inerţie*, se constată că se pot stabili relaţii de echivalenţă, de tipul „corpul A este la fel de inert ca şi corpul B", precum şi relaţii de ordonare, de tipul : „corpul A este mai inert decît corpul C". Relaţia de echivalenţă arătată se poate găsi printr-un criteriu experimental, pe baza căruia să se poată stabili că un corp are aceeaşi inerţie cu altul. Acest rol de criteriu experimental îl poate îndeplini un fenomen fizic în care se manifestă specia de proprietăţi inerţie ; de exemplu, schimbarea stării de mişcare la ciocnirea a două corpuri reprezintă un fenomen în care se manifestă inerţia. Experienţa se poate efectua în felul următor : două bile B_1 şi B_2 (fig. 1) sînt suspendate prin cîte un fir de aţă de un acelaşi suport, astfel încît în stare de echilibru ele să fie în contact. Partea din suprafeţele bilelor care vine în contact se acoperă cu puţină plastilină. Bilele sînt ridicate la aceeaşi înălţime h faţă de poziţia lor de echilibru şi menţinute în această poziţie de un fir de aţă, trecut peste doi scripeţi S_1 şi S_2. Se dă foc firului F în punctul A ; bilele cad de la aceeaşi înălţime, se ciocnesc cu viteze egale şi de sens contrar. Dacă după ciocnire bilele rămîn în repaus, înseamnă că ele au inerţii egale.

Toate corpurile care sînt identice din punct de vedere al inerţiei, indiferent de celelalte proprietăţi ale lor, formează o *clasă de echivalenţă* în raport cu specia de proprietăţi inerţie. Pentru stabilirea claselor de echivaleţă în raport cu specia de proprietăţi inerţie se poate proceda în felul următor : se execută de mai multe ori experienţa arătată : menţinînd de fiecare dată o anumită bilă din grup suspendată de firul f_1, de firul f_2 se suspendă pe rînd, una cîte una, celelalte bile. Înseamnă că toate bilele, care după ciocnire cu bila fixată de f_1 au rămas în repaus, formează o clasă de echivalenţă, deoarece au aceeaşi inerţie. Bilele din această clasă de echivalenţă stabilită se dau de o parte. De firul f_1 se fixează o altă bilă şi se repetă experienţele cu bilele rămase, pînă se stabileşte o nouă

clasă de echivalenţă. Se procedează în mod asemnător în continuare pînă ce toate bilele au fost incluse în clase de echivalenţă în raport cu specia de proprietăţi inerţie. Fiecare clasă de echivalenţă este caracterizată de una din proprietăţile distincte ale speciei de proprietăţi inerţie, adică toate bilele care formează o clasă de echivalenţă au aceeaşi inerţie ; inerţia diferă însă de la o clasă de echivalenţă la alta.

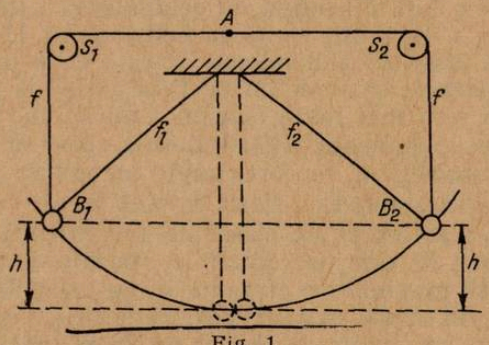


Fig. 1

Fie o clasă de echivalenţă formată din elementele **a, b, c, ...** şi o altă clasă de echivalenţă, formată din elementele **m, n, o,...** Între oricare, două elemente ale unei clase de echivalenţă există o relaţie de echivalenţă, notată simbolic $\mathcal{E}$, de exemplu **a** $\mathcal{E}$ **b**, sau **m** $\mathcal{E}$ **n**. Între două elemente din clase de echivalenţă diferite există o relaţie de neechivalenţă, notată simbolic $\overline{\mathcal{E}}$, de ex. **a** $\overline{\mathcal{E}}$ **m**.

Se pot face în continuare experienţe cu acelaşi dispozitiv (fig. 1) care să se stabilească ce relaţii există între inerţiile caracteristice diferitelor clase de echivalenţă. Se suspendă de firul f_1 o bilă dintr-o clasă de echivalenţă, iar de firul f_2 o bilă din altă clasă de ehivalenţă. Fiind din clase de echivalenţă diferite, cele două bile au inerţie diferită şi deci prin ciocnire plastică, după ce au căzut de la aceeaşi înălţime h, faţă de poziţia de echilibru, ele nu rămîn în repaus, ci se deplasează spre bila cu inerţie mai mică. Prin această experienţă se poate stabili deci care din cele două clase de echivalenţă corespunde unei inerţii mai mari. Repetînd experienţa pentru toate clasele de echivalenţă, se poate stabili o *relaţie de ordonare*, după care toate clasele de echivalenţă pot fi aşezate în ordine crescătoare sau descrescătoare a inerţiei. Între două elemente din clase de echivalenţă diferite, între care există relaţia de neechivalenţă **a** $\overline{\mathcal{E}}$ **m**, se poate stabili relaţie de ordonare **a** $\mathcal{O}$ **m**.

Aşadar, dintre speciile de proprietăi care se pot folosi pentru descrierea sistemelor materiale, unele sînt neordonabile, iar altele sînt *specii de proprietăţi ordonabile*. Este ordonabilă o specie de proprietăţi pentru care se pot stabili clase de echivalenţă şi între oricare două clase există o relaţie de ordonare, astfel încît ele se poată fi aşezate într-o ordine crescătoare sau descrescătoare.

Se poate stabili o corespondenţă între clasele de echivalenţă găsite pentru specia de proprietăţi ordonabile şi mulţimea numerelor reale (sau o submulţime a acesteia), astfel încît fiecărei clase să-i corespundă un număr real. Pentru aceasta este necesar ca una din clasele de echivalenţă să fie aleasă ca etalon, iar toate celelalte să fie comparate cu etalonul. Se suspendă de firul f_1 o bilă, din clasa de echivalenţă aleasă ca etalon, fie această clasă I. De firul f_2 se suspendă o bilă din clasa de echivalenţă ce trebuie

compartă, fie această clasă II. Se adaugă de partea firului f_1 cîte o bilă din clasa de echivalenţă I şi se repetă de fiecare dată experienţa, pînă ce la un moment dat se va obţine situaţia că n bile din clasa de echivalenţă I şi bila din clasa de echivalenţă II rămîn în echilibru după ciocnirea prin cădere de la aceeaşi înălţime h. Înseamnă că o bilă din clasa de echivalenţă II este de n ori mai inertă decît o bilă din clasa de echivalenţă I. (Se poate întîmpla ca o bilă din clasa de echivalenţă I să rămînă în repaus după ciocnirea cu n bile din clasa de echivalenţă II şi atunci concluzia este că o bilă din clasa de echivalenţă II este de n ori mai puţin inertă decît o bilă din clasa de echivalenţă I). Prin astfel de experienţe se poate stabili de cîte ori este mai mare (sau mai mică) inerţia corespunzătoare tuturor claselor de echivalenţă faţă de inerţia clasei de echivalenţă I. Fiecărei clase de echivaneţă îi va corespunde un număr real n, care arată de cîte ori inerţia caracteristică clasei respective este mai mare (sau mai mică) decît inerţia caracteristică clasei de echivalenţă I.

Spre deosebire de cele neordonabile, speciile de proprietăţi ordonabile permit operaţii matematice cu numere, iar relaţiile dintre evenimente pot fi exprimate prin relaţii matematice. De aceea, pentru descrierea ştiinţifică a realităţii sînt preferate astfel de proprietăţi ordonabile.

1.2. **Formarea noţiunii de mărime fizică.** Din cele arătate, rezultă că pentru introducerea unei specii de mărimi fizice, care să descrie cantitativ o specie de proprietăţi ordonabile, trebuie să se îndeplinească următoarele condiţii :

1 — găsirea unui criteriu experimental, cu ajutorul căruia se stabilesc clasele de echivalenţă ; 2 — odronarea claselor de echivalenţă, pe baza criteriului experimental ; 3 — alegerea uneia din clasele de echivalenţă ca *etalon* de comparaţie pentru toate celelalte ; 4 — atribuirea unui *număr real* fiecărei clase de echivalenţă, pe baza unui *procedeu de măsurare.*

Clasei de echivalenţă aleasă ca etalon i se atribuie convenţional numărul 1, iar celorlalte numerele care rezultă din compararea claselor respective cu etalonul, prin procedeul de măsurare ales.

Specia de mărime fizică este ansamblul numerelor reale cu care specia de proprietăţi ordonabile a fost pusă în corespondenţă biunivocă, împreună cu etalonul şi procedeul de măsurare. Specia de mărime fizică se defineşte prin toate aceste trei elemente : mulţimea (sau o submulţime) a numerelor reale, etalonul, procedeul de măsurare, fără a se putea reduce la nici unul din ele.

În cazul exemplului considerat, pentru descrierea cantitativă a speciei de proprietăţi **inerţie** se introduce specia de mărime fizică, numită **masă.** Fiecărei clase de echivalenţă în raport cu specia de proprietăţi inerţie i se asociază cîte un număr din mulţimea numerelor reale, ca rezultat al comparării tuturor claselor de echivalenţă cu etalonul, prin procedeul de măsurare indicat. Prin urmare o mărime fizică exprimă în mod cantitativ o proprietate ordonabilă a unui sistem fizic. Cu ajutorul mărimilor fizice relaţiile dintre proprietăţi se exprimă prin relaţii matematice.

1.3. **Mărimi fundamentale şi mărimi derivate.** Între mărimile fizice se pot stabili multe relaţii matematice. Prin astfel de relaţii între mărimi fizice cunoscute s-ar putea defini alte mărimi fizice. Introducerea unei noi mărimi fizice, printr-o relaţie matematică între mărimi fizice cunoscute, trebuie să fie justificată de existenţa unei noi proprietăţi ordonabile a sistemelor materiale, care trebuie descrisă şi care nu poate fi exprimată cantitativ numai cu mărimile fizice existente. Astfel, de exem-

plu, se constată experimental că variaţia energiei mecanice a unui sistem mecanic ce interacţionează cu altul, cu o forţă care îşi deplasează punctul de aplicaţie, depinde de modulul forţei, de distanţa pe care aceasta îşi deplasează punctul de aplicaţie, precum şi de unghiul dintre direcţia vectorului forţă şi direcţia deplasării. Pentru a exprima cantitativ variaţia energiei mecanice a sistemului în acest caz, nu este deci suficientă singură nici una din mărimile fizice forţă sau lungime, ci trebuie introdusă o mărime fizică, nouă, care să depindă şi de forţa F şi de deplasarea s, precum şi de unghiul α dintre direcţia forţei şi direcţia deplasării. Această mărime poartă numele de **lucru mecanic.** Formula de definiţie a lucrului mecanic este $L = F\,s\cos\alpha$. Este introdusă funcţia trigonometrică cos α, pentru că ea corespunde observaţiei experimentale că variaţia energiei mecanice a sistemului, în condiţiile arătate anterior, este nulă dacă unghiul dintre direcţia forţei şi direcţia deplasării este $\frac{\pi}{2}$, creşte cînd acest unghi scade şi devine maximă cînd unghiul devine 0.

S-ar părea că prin orice relaţie între mărimi cunoscute s-ar putea defini o nouă mărime. Dar, deşi din punct de vedere matematic o astfel de definiţie este posibilă, ea nu are nici o semificaţie fizică şi nici utilitate practică, dacă nu corespunde unei necesităţi de a descrie cantitativ anumită proprietate. Astfel, de exemplu, deşi matematic s-ar putea defini o mărime $\frac{\text{spaţiu}}{\text{volum}}$ sau o mărime $\frac{\text{masă}}{\text{viteză}}$, aceste definiţii nu corespund unor mărimi fizice, deoarece ele nu descriu cantitativ vreo proprietate fizică a sistemelor materiale.

Mărimile fizice care se definesc pe baza altor mărimi, prin relaţii matematice, numite *formule de definiţie*, se numesc *mărimi derivate*. Pentru a se putea defini mărimi derivate, trebuie să fie definite în prealabil unele mărimi fizice, dar într-un mod care să nu necesite formule de definiţie. Cel mai mic număr de mărimi independente, pe baza cărora să poată fi definite univoc toate celelalte mărimi, alcătuieşte un grup de *mărimi fundamentale*. Mărimile fundamentale nu se definesc prin formule, ci prin indicarea speciei de proprietăţi ordonabile pe care o măsoară, a procedeului de măsură şi a unităţilor de măsură. Alegerea mărimilor fizice fundamentale este o chestiune convenţională. Orice ansamblu de mărimi fizice poate îndeplini acest rol, cu condiţia să fie independente şi să permită definire univocă a celorlalte mărimi fundamentale acelea pe care etaloanele de unităţi de măsură pot fi realizate şi reproduse cu cît mai mare precizie.

Mărimile fundamentale utilizate în prezent în diferite capitole ale fizicii sînt indicate în tabelul din pagina următoare.

Mărimile derivate se definesc printr-o relaţie matematică, numită *formulă de definiţie*. Să notăm prin F_1, F_2,... mărimile fundamentale şi prin D_1, D_2,..., mărimile derivate. Formulele de definiţie ale mărimilor derivate pot fi funcţii numai de mărimi fundamentale $D_1 = D_1\,(F_1, F_2)$, ca de exemplu formula de definiţie a cantităţii de electricitate $Q = I \cdot t$ sau a vitezei $v = \frac{\mathrm{d}S}{\mathrm{d}t}$; ele pot fi funcţii de mărimi fundamentale şi mărimi derivate $D_1 = D_1\,(F_1, D_2)$, ca de exemplu formula de definiţie a impulsului $\vec{H} = m\vec{v}$, a rezistenţei electrice $R = \frac{U}{I}$ sau a energiei potenţiale gravitaţionale $E_p = mgh$; de asemenea ele pot să fie funcţii

Capitolul fizicii	Mărimile fundamentale	Simbolurile
Mecanică	lungime	L
	timp	T
	masă	M
Electromagnetism	lungime	L
	timp	T
	masă	M
	interensitatea curentului electric	I
Căldură şi fizică moleculară	lungime	L
	timp	T
	masă	M
	temperatură	θ
Fotometrie	lungime	L
	timp	T
	masă	M
	intensitate luminoasă	I_1
Acustică	lungime	L
	timp	T
	masă	M
Fizică atomică şi nucleară	lungime	L
	timp	T
	masă	M
	intensitatea curentului electric	I

numai de alte mărimi derivate $D_1 = D_1\ (D_2, D_3)$, ca de exemplu formula de definiţie a presiunii $p = \frac{F}{A}$, unde aria A este mică, sau formula de definiţie a debitului de volum $Q_v = v \cdot A$ etc. Formulei de definiţie îi corespunde şi o formulare printr-o frază, care trebuie să conţină atît aspectul calitativ al mărimii respective — adică proprietatea fizică pe care o măsoară mărimea respectivă — cît şi aspectul ei cantitativ, dat de relaţia în care se găseşte mărimea de definit cu alte mărimi cunoscute. De exemplu, pentru mărimea fizică **impuls**, semnificaţia lui fizică (latura calitativă) este dată de faptul că impulsul este o mărime vectorială care caracterizează starea de mişcare la un moment dat a unui punct material, din punct de vedere dinamic. Este deci o mărime de stare. Cantitativ,

impulsul este definit printr-o formulă de tipul $D_1 = D_1\ (F_1, D_2)$ și anume: $\vec{H} = m\vec{v}$, căreia i se atașează fraza: *impulsul unui punct material este o mărime vectorială egală cu produsul dintre masa punctului material și viteza lui momentană.*

Semnificația fizică a mărimii numită **putere** este de a caracteriza proprietatea unui sistem fizic de a efectua lucru mecanic cu o viteză mai mare sau mai mică. Puterea este definită printr-o relație de tipul $D_1 = D_1\ (F_1, D_2)$ și anume $P = \frac{\Delta L}{\Delta t}$, căreia i se asociază fraza: *puterea este o mărime egală cu cîtul dintre lucrul mecanic efectuat de un sistem fizic și intervalul de timp în care a fost efectuat, considerînd acest interval foarte mic.*

1.4. **Formule dimensionale.** Dacă formula de definiție a unei mărimi derivate se explicitează pînă ce se obțin în membrul II numai mărimi fundamentale, ecuația obținută poartă numele de *formulă dimensională.* Să găsim formula dimensională a mărimii derivate, accelerație:

$$<a> = \frac{<v>}{<t>} = \frac{<s>}{<t^2>} = <S> <t^{-2}>.$$

deci formula dimensională este:

$$<a> = L \cdot T^{-2} \qquad (1)$$

Procedînd analog, pentru forță găsim:

$$<F> = <m> \cdot <a> = LMT^{-2} \qquad (2)$$

În general, formula dimensională a unei mărimi mecanice este o expresie de forma:

$$<M> = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma}$$

adică are dimensiunea α în raport cu lungimea, dimensiunea β în raport cu masa și dimensiunea γ în raport cu timpul. Din formula (1) se deduce că accelerația are dimensiunea 1 în raport cu lungimea, dimensiunea $^{-}2$ în raport cu timpul și dimensiunea 0 în raport cu masa. În formula (2) se vede că forța are dimensiunea 1 în raport cu lungimea și cu masa și dimensiunea $^{-}2$ în raport cu timpul.

Formulele dimensionale servesc la definirea unităților de măsură pentru mărimile derivate. De asemenea, ele pot servi la verificarea omogenității relațiilor dintre mărimile fizice: membrul întîi și membrul doi ai unei relații fizice trebuie să aibă aceleași dimensiuni. Astfel de exemplu se poate verifica justețea expresiei legii conservării energiei mecanice:

$$E = \frac{mv^2}{2} + mgh$$

deducînd dimensiunile fiecărui membru al relației și comparîndu-le între ele:

$$<E> = L^2MT^{-2}$$

iar

$$\frac{<m><v^2>}{2} + <m><g><h> = ML^2T^{-2} + MLT^{-2} \cdot L = ML^2T^{-2}$$

deci relația este posibilă dimensional.

Pe această cale se poate verifica justețea rezultatelor găsite prin calcul literal la rezolvarea problemelor de fizică.

ASPECTE ALE EMISIUNII ELECTRONICE LA SUBSTANȚELE NEMETALICE

Asistent *CRĂCIUN P.* profesor *PĂCURARU V.*

Întrucît la lecțiile care tratează optica fotonică, se expune efectul foto-electric exemplificat aproape exclusiv pentru metale (experiența lui Hertz cu sferele de zinc, celula fotoelectrică ca catozi de Na, K, Cs etc), apare, după părerea noastră, riscul ca elevii să rămînă cu o imagine unilaterală și anume că efectul fotoelectric și în general, emisunea de electroni a corpurilor solide este caracteristică mai mult metalelor. De aceea, în cele ce urmează, ne-am propus să arătăm cîteva aspecte interesante, mai noi, semnalate în literatura de specialitate, de emisiuni electronice la substanțele nemetalice precum și explicația lor. În felul acesta, sperăm, profesorii de fizică și chimie vor putea avea pe lîngă argumentele ajutătoare ce le prezintă acest material în predarea unor capitole speciale și o ocazie în plus de a trata mai detaliat aceste capitole în cercurile de fizică și chimie ale elevilor.

1. Introducere

În principiu, electronii pot fi emiși de orice substanță din acele centre sau regiuni în care electronii sînt cantitativ mai numeroși sau favorizați energetic față de electronii din restul mediului dat. Aceste centre pot fi create prin mijloace diverse : prin formarea de defecte în rețeaua cristalină, prin introducerea unor impurități în rețea, etc.

În cazul substanțelor mai complexe, apariția centrelor emisive de electroni se poate datori unor cauza de o diversitate mai mare decît în cazul metalelor. Astfel, se pot cita emisii de electroni care întovorășesc eliminarea apei de cristalizare din cristalele hidratate, altele care apar la substanțele nemetalice după ce acestea au suferit un bombardament corpuscular sau iradieri, sau adeseori, emisiuni electronice care însoțesc alte fenomene, cum ar fi luminescența, etc.

Întrucît, în cazul exemplelor mai sus citate, numărul centrelor care pot emite electroni este mult mai mic decît numărul total al atomilor din rețeaua cristalină, emisia care poate fi pusă în evidență este o microemisiune de electroni de energii mici (în jur de 1 eV). De aceea înregistrarea emisiei necesită și un aparataj extrem de sensibil.

În forma cea mai simplificată, un asemenea aparataj este constituit dintr-un contor Geiger-Müller deschis, sub care se așează proba emisivă. Ambele se acoperă cu un clopot etanș sub care care se introduce gazul de stingere necesar funcționării controlului (amestec de gaz nobil și un gaz organic poliatomic). În cazul cînd se studiază emisiunea în vid ($10^{-5} - 10^{-9}$ torr), în locul contorului se folosește un multiplicator de electroni secundari.

În figura 1 este redată mai complet, după Bohun, schema dispozitivului de măsură a emisiunii electronice care însoțește termo-luniniscența cristalelor. Dispozitivul poate mări automat temperatura probei cu o viteză de 2 grade/secundă.

Proba poate fi sub forma de pulberi de o grosime oarecare sau în peliculă subțire sau, cînd e posibil, sub forma unui mono-cristal.

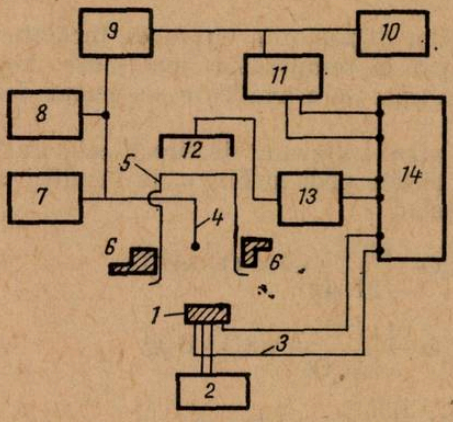


Fig. 1

Cu un asemenea dispozitiv se poate înregistra simultan variația emisiunii electronice în funcție de modificarea altor parametri.

2. — Emisiuni electronice ale substanțelor nemetalice

2.1. — *Emisiunea electrică la eliminarea apei de cristalizare* Era cunoscut faptul că sulfatul de chinină $(C_{20}H_{24}O_2N_2)\cdot H_2SO_4\cdot 8H_2O$ prin încălzire face să crească conductibilitatea aerului înconjurător. Kramer (1949) încălzind această substanță sub un contor Geiger-Müller a putut înregistra o emisiune de electroni la temperatura de circa 100°C.

Hanle, Scharmann și Seibert (1963) au studiat emisiunea electronică dintr-o serie de cristale care conțin în molecula lor apă de cristalizare, încălzindu-le în vid (10^{-5} torr) la o temperatură ce creștea liniar în timp. O asemenea reprezentare a intensității de emisiune electronică în funcție de temperatura de încălzire este cunoscută în literatura de

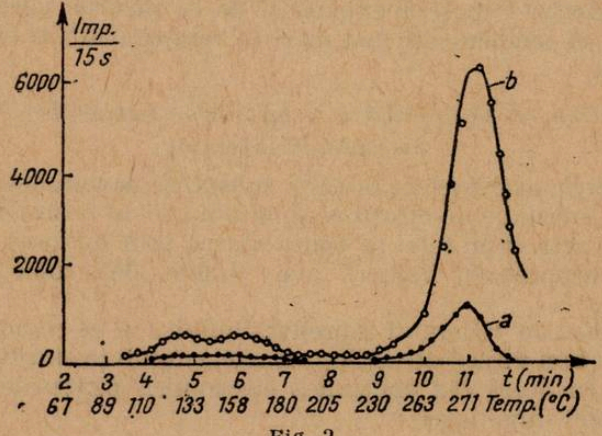


Fig. 2

specialitate sub denumirea de curbă Glow. O asemenea curbă e redată și în fig. 2, (după Hanle și colaboratorii), pentru emisia de electroni la un cristal de $CuSO_4\cdot 5H_2O$ (b) precum și la pulbere de sulfat de cupru (a).

Cum se vede din figură, ambele curbe au picuri intense la 275°, monocristalul (curba b) prezentînd în plus două picuri suplimentare la 130° și 158°C.

Poziția picurilor depinde de viteza de încălzire. La viteză mică de încăzire picurile apar la temperaturi mai joase. Legătura dintre aceste picuri și eliminarea apei de cristalizare s-a putut desprinde din următoarele observații:

Se știe că în cazul sulfatului de cupru cele cinci molecule de apă de cristalizare se pot pierde prin încălzire, în condiții normale de presiune, în trei etape succesive:

$$1.\ CuSO_4 \cdot 5H_2O \xrightarrow[-2H_2O]{96°C} CuSO_4 \cdot 3H_2O$$

$$2.\ CuSO_4 \cdot 3H_2O \xrightarrow[-2H_2O]{117°C} CuSO_4 \cdot H_2O$$

$$3.\ CuSO_4 \cdot H_2O \xrightarrow[-H_2O]{250°C} CuSO_4$$

A fost plauzibil deci să se presupună, comparînd curba Glow obținută cu datele de mai sus, că în fiecare etapă a deshidratării se produce o intensificare a emisiei electronice și deci apariția unui nou pic al curbei.

În cazul pulberii de sulfat de cupru, în condițiile de presiune scăzută (10^{-5} torr), primele molecule de apă se elimină la temperaturi mai joase ca cele aflate la presiune normală. Aceasta explică și lipsa oricărei emisiuni înregistrate pe curba Glow la temperaturi joase.

Concluzii similare au putut fi trase și din comportarea altor cristale hidratate cum ar fi $BaCl_2 \cdot 2H_2O$, $NiSO_4 \cdot 7H_2O \cdot NiSO_4$, $(CdC_2H_3O_2)_2 \cdot 3H_2O$, $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ și altele.

Faptul că eliminarea apei de cristalizare este însoțită de o emisiune electronică a putut fi explicat astfel. La părăsirea moleculei de către apa de cristalizare se crează centre de captură care se populează cu electroni. Prin încălzire, aceste centre sînt părăsite de electronii care formează emisia electronică. Această ipoteză explică și de ce picurile curbei Glow apar în totdeauna la temperaturi mai mari ca temperatura la care se produce deshidratarea.

2.2. — Emisia electronică a substanțelor nemetalice bombardate cu radiații ionizante

Suprafețele activate ale oricărei substanțe nemetalice devin capabile să producă o emisiune de electroni spontani atît la întuneric cît și la iluminare. Activarea suprafeței se poate obține prin mijloace diverse: bombardament corpuscular, iradieri, atac chimic, deformări mecanice alesuprafeței etc.

Din punct de vedere al reproductibilității și al comodității de execuție, cel mai bun mijloc de activare a unei suprafețe emisive este iradierea cu raze X. În acest caz emisiunea electronică poate decurge spontan (fără iluminare) după legea:

$$I = I_{on} t^{-a} \qquad (1)$$

unde I_{on} — emisiunea electronică la momentul zero, după n secunde de iradiere;

t — timpul în care se produce emisia.

Pentru timpi n de activare nu prea mari, se ajunge la valori ale lui a proporționale cu n. Pentru n mari, se tinde spre un echilibru între excitare și stingere, intensitatea emisie ajungînd la o stare de saturație.

Timpul de activare după care intensitatea emisiunii ajunge la saturație se numește timp de saturație. Iradiind proba peste timpul de satu-

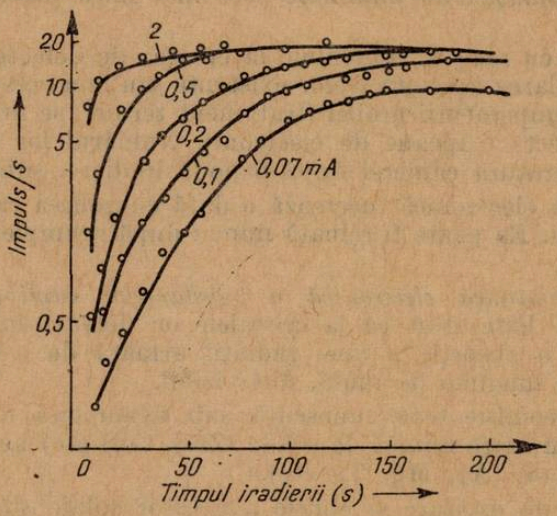


Fig. 3

rație, intensitatea emisiunii electronice obținute rămîne practic aceeași — intensitatea la saturație.

Intensitatea la saturație crește cu creșterea curentului din tubul Röntgen (fig. 3) după o lege liniară.

Legea de evoluție a intensității emisiunii electronice spontane poate fi modificată dacă substanța bombardată este în prealabil supusă la un tratament termic. Astfel în cazul ipsosului care n-a suferit nici un tratament termic, pentru relația (1), se găsește $a = 1{,}2$; același material tratat termic în prealabil la 940° va emite tot după o lege (1), în acest caz însă $a = 0{,}12$.

Prin iradierea unei substanțe cu raze X suprafața acesteia se activează inegal, de aceea la emisiunea electronică spontană participă numai acele centre emisive care au energie termică suficientă pentru ca la temperatura camerei electronii să poată părăsi aceste centre.

Dacă o suprafață activă cu raze X este stimulată cu o radiație luminoasă, la emisiunea electronică participă și centrele cu electroni cu energie mai mică, care pot părăsi locurile lor numai în urma absorției de lumină. De aceea, în acest caz, intensitatea emisiunii electronice este spontană.

În concluzie, intensitatea emisiunii electronice a substanțelor nemetalice activate prin iradiere poate fi influențată de energia radiației cu care se activează proba, de durata de activare, de tratamentele termice ale probei cît și prin diferite procedee chimice care modifică suprafața emisivă. Aceste constatări au putut arunca o lumină asupra mecanismului de emisie.

Această emisiune este o emisiune de suprafață. Ea se datorește creerii de defecte sau impurități la suprafața probei. Aceste defecte

joacă rol de capcane pentru electroni, capcane care energetic se situează în banda interzisă. În felul acesta electronii din aceste nivele au o probabilitate mai mare de a trece spontan, la temperatura camerei, în zona de conducţie decît electronii aparţinînd zonei de valenţă. Această probabilitate creşte şi mai mult cînd suprafaţa este iluminată, chiar dacă energia radiaţiei de iluminare este mai mică decît zona interzisă a cristalului.

Iradierea cu raze X contribuie la crearea de defecte în cristal precum şi la popularea acestora (celor existente sau nou create) cu electroni. Prin mărirea temperaturii probei (tratament termic) se micşorează numărul acestor defecte (capcane de electroni). Numărul lor iniţial se poate reface la temperatura camerei după o nouă iradiere, suficient de lungă.

Emisiunea electronică încetează o dată cu golirea capcanelor populate cu electroni. Ea poate fi reluată numai după reumplerea lor printr-o nouă iradiere.

2.3. — *Emisiunea electronică a substanţelor luminescente şi electroluminescemte.* Este ştiut că la cristalele cu defecte sau impurităţi se poate produce o absorţie a unei radiaţii urmată de o reemisie a unei radiaţii cu altă lungime de undă, din vizibil.

Această reemisie este cunoscută sub denumirea de luminescenţă şi întîlnită la un mare număr de solide (ZnS, CdS etc) activate cu urme de diverse metale (Ag, Mg, Te etc).

Spectrele de excitare şi emisie a acestor solide sînt caracteristice tranziţiilor între stările ionilor activatori. Însă simultan cu emisia luminoasă, cristalele luminescente pot da şi o emisiune de electroni.

Bohun (1955) a stabilit legătura între luminescenţa izolatoarelor şi emisiunea electronică, ambele avînd ca origine trecerea electronilor din centrele de captură în banda de conducţie.

Bohun s-a folosit de aparatura descrisă în fig. 1 pentru studiul curbelor Glow (variaţia emisiunii electronice cu creşterea în timp a temperaturii) pentru mai multe cristale luminescente : ZnS(Ag), ZnS + CdS, etc.

Simultan a măsurat şi variaţia intensităţii de luminescenţă cu ajutorul unui fotomultiplicator.

Aceste măsurători au arătat un paralelism remarcabil între emisia luminoasă şi cea electronică.

De asemenea şi în procesul electroluminescenţei unor cristale cu proprietăţi semiconductoare se poate sesiza o emisiune de electroni. Astfel de cristale sînt blendele şi în particular ZnS.

Se admite existenţa, la contactul ZnS cu un strat superficial conductor, a unei bariere de tip Motl-Schottky în care cîmpul electric poate fi de cîteva zeci de ori mai mare decît cîmpul electric din interiorul cristalului. Acest cîmp poate imprima electronului energii care depăşesc travaliul de extracţie a cristalului.

O evidenţiere a acestui lucru a fost făcută şi de P. Petrescu(1964). O plăcuţă cu secţiune de 1 cm^2 tăiată dintr-un cristal ZnS impurificat cu Cu, a fost supusă între două armături de Ag conectate la $10^2 - 10^3$ Volt (tensiune continuă). S-a obţinut electroluminescenţa cristalului localizată spre catod. Deplasînd un contor Geiger-Müller de la anod spre catod s-a constat că aceasta înregistrează o emisiune de electroni care

este localizată ca și electroluminescența, spre catod (ZnS este un semiconductor de tip n), ceea ce confirmă legătura dintre cele două fenomene care au ca origine trecerea electronilor din centrele de captură în banda de conducție.

2.4. — *Emisiunea electronică a cristalelor colorate.* Frenkel, Schottky și Wagner au fost primii care au considerat că toate cristalele, într-o măsură mai mare sau mai mică, conțin defecte punctuale ale rețelei cristaline. După natura defectelor au fost introduse și denumirile lor speciale. Astfel în cazul cristalelor ionice se vorbește de centre (defecte) F_I V_F, H, I, M etc. Acestea sînt lacune sau interstiții care captînd electroni sau poluri pozitive pot absorbi o frecvență a radiațiilor din vizibil, ceea ce face să apară cristalul colorat în funcție de frecvența radiației absorbite.

Formarea centrilor colorați necesită deci o dublă operație : crearea de defecte atomice și popularea lor cu electroni sau goluri pozitive. Defectele pot fi create în moduri diferite, cum ar fi : iradiere cu particule rapide (*e*, *n*, *ioni*, deformații plastice ale rețelei cristaline, aditiv (printr-un exces de metal sau halogen), descărcări electrice etc.

Prin iluminarea cristalelor colorate cu lumină albă, acestea vor absorbi o bandă de frecvențe, care este caracteristică cristalului. În urma absorbției acestei bande, centrele de culoare tieptat vor fi desființate.

Distrugerea centrelor de culoare poate fi realizată și prin încălzirea cristalelor la diferite temperaturi. Operația are ca efect o luminescență. Cele două fenomene (existența bandei de absorție și termoluminescența) sînt de fapt cele două mijloace importante de investigare în cercetarea defectelor cristalelor colorate și în particular ale halogenurilor alcaline (KCl, NaCl, LiF etc).

Bohun (1955) înregistrînd însă simultan cu termoluminescența și termoemisiunea electronică (curba Glow) la halogenurile alcaline colorate, a observat un paralelism remarcabil între cele două emisiuni (termoluminoasă și termoelectronică) la cele mai multe din cristalele examinate. S-au comparat de asemenea aceste curbe cu cea de conductibilitate a cristalului la viteza de încălzire constantă. Aceste constatări a permis să se tragă concluzia că termoemisiunea și termoluminescența provin ambele din centrele colorate.

Aceeași concluzie a fost trasă și de P. Petrescu (1965) din analiza spectrelor de foto-emisie în studiul centrelor de culoare clasice (F, M, R etc) și mai recent (1967) la centrele L.

În cazul centrelor de culoare clasice, răspunzător de emisiunea electronică nu este volumul cristalului, ci suprafața lui. Această concluzie a fost trasă în urma diferitor tratamente la care a fost supus cristalul înainte sau după colorare.

Astfel, dacă înainte de colorare un cristal (de ex. KCl sau NaCl) se încălzește 15 minute în aer la 400°C, în curba Glow apare un nou maxim spre deosebire de cristalul de tratat. Un astfel de cristal supus la un tratanent de spălare cu apă va da o curbă Glow de intensitate foarte atenuantă sau chiar va avea loc dispariția totală a emisiunii.

Explicația constă în aceea că prin dizolvarea suprafeței cristalului, centrele de culoare sînt desființate. Prin recristalizare se formează un nou strat superficial care poate fi recolorat prin unul din procedeele amintite.

Se poate rezuma comportarea emisiei electronice la cristalele colorate de halogenuri alcaline astfel:

1. — Un cristal necolorat nu prezintă emisiuni electronice în spectrul vizibil și nici termoemisiune. 2. — Cristalul colorat dă la întuneric o curbă Glow cu mai multe picuri; prin iluminarea poate de asemenea emite electroni. 3. — După decolorarea cristalului (prin încălzire sau iluminare) emisia electronică încetează chiar la stimulare foto sau termică. Ea poate reapare în urma unei noi colorări. 4. — Emisia de maximă importanță este cea din stratul superficial. Tratamentul termic al cristalului poate impurifica stratul superficial cu gaze din atmosfera înconjurătoare (mai ales O_2) ceea ce schimbă densitatea centrilor emisivi și deci modifică emisiunea.

3. Concluzii

După cum s-a văzut, toate substanțele pot fi capabile, în anumite condiții, de o emisiune electronică. Ceea ce este însă mai important în aceste fenomene nu este emisiunea electronică în sine, ci concluziile care se pot trage .De aceea cercetarea emisiunilor electronice la corpurile solide e folosită ca un mijloc de investigație în elucidarea unor fenomene insuficient explicate prin alte mijloace.

Astfel, în cristalele neluminescente, în spectrul vizibil emisiunea electronică furnizează cele mai utile informații asupra acestui fenomen. La fel spectroscopia emisiei electronice poate fi o metodă mai sensibilă decît cele clasice pentru studiul centrelor de culoare.

În sfîrșit, emisiunea electronică a substanțelor solide poate avea și o importanță interpretativă în fizică cît și în chimie. Ea poate arunca o lumină nouă asupra înțelegerii unor fenomene deosebit de importante cum ar fi cataliza în industria chimică etc.

OBSERVAȚII ÎN LEGĂTURĂ CU FLUXUL DE INDUCȚIE MAGNETICĂ

Prof. *VASILE FEY*, Cluj

Cîmpul magnetic poate fi caracterizat prin diferite mărimi fizice. Printre acestea, inducția magnetică $B = \mu H$, exprimă efectul comun a factorului exterior care generează cîmpul magnetic (curent electric, magnet permanent) precum și al mediului. Vectorul $\overline{B}$ este reprezentat prin linii de inducție a căror densitate este proporțională cu modulul vectorului $\overline{B}$, iar tangenta la ele indică direcția vectorului $\overline{B}$. Dacă vrem să exprimăm întinderea cîmpului considerat, introducerem noțiunea de flux de inducție magnetică, definită la nivelul liceului în modul următor: Fluxul inducției magnetice este mărimea exprimată prin produsul inducției magnetice și a proiecției suprafeței respective pe planul perpendicular pe liniile de inducție. Considerînd un cîmp magnetic omogen, avem $\Phi = BS \cos \alpha$ sau dacă $B \perp S$, rezultă $\Phi = BS$. Nu putem fi de acord cu concepția conform căreia fluxul de inducție magnetică se definește cu ajutorul numărului liniilor de inducție care intersectează acea suprafață. Liniile de inducție constituie o abstracție, ele doar reprezintă cîmpul magnetic și nu există în realitate. Lucrul se petrece chiar invers: pentru a reprezenta fluxul Φ, prin suprafața

S, trasăm un număr de linii proporțional cu Φ. Astfel obținem o imagine intuitivă pe care o putem folosi ca model.

Trebuie să avem în vedere că fluxul de inducție magnetică este o mărime care caracterizează cîmpul magnetic independent de factorul care a creat acest cîmp și indiferent dacă există în cîmp un conductor sau nu și indiferent de forma acestui conductor.

Dacă acest cîmp este creat de un toroid sau de un solenoid, fluxul de inducție se poate calcula prin formulele : $\Phi = BS = \mu HS = \mu \frac{NS}{l} I$.

În unele tratate, manuale și culegeri de probleme se folosesc însă două noțiuni : „fluxul printr-o spiră a solenoidului" și „fluxul total".

Ce rost are introducerea acestor două noțiuni ? După cum am mai spus, fluxul caracterizează cîmpul magnetic. Cele N spire ale solenoidului au dat naștere cîmpului magnetic pe care îl putem caracteriza prin intensitatea $\overline{H}$, prin inducția $\overline{B} = \mu \overline{H}$ sau prin fluxul Φ. Același flux, sau-folosind modelul intuitiv — același număr de linii de inducție, intersectează o singură spiră cît și întregul solenoid. Deci nu are rost să distingem un „flux printr-o spiră" și un „flux total".

De unde provin aceste două noțiuni de flux ? Din aplicarea eronată a legii lui Faraday. Tensiunea electromotoare indusă într-o spiră este proporțională cu viteza de variație a fluxului magnetic inductor : $e = -\frac{d\Phi}{dt}$. Folosind o bobină indusă cu N spire, aceste spire pot fi considerate ca generatoare legate în serie, deci tensiunea electromotoare indusă va crește de N ori : $e = -N\frac{d\Phi}{dt}$. Sub această formă figurează legea lui Faraday în multe tratate și manuale, ca de exemplu Th. V. Ionescu : Electricitatea, ; H. Lindner : Fizica pentru tehnicieni.

Comparînd formula $\Phi = \mu \frac{NS}{l} I$, care ne dă fluxul troidului și al solenoidului, cu $e = -N\frac{d\Phi}{dt}$ și $e = -L\frac{dI}{dt}$, care exprimă tensiunea electromotoare indusă respectiv autoindusă, obținem relațiile : $L = \mu \frac{N^2 S}{l}$ și $\Phi = \frac{L}{N} I$.

În acest fel se pot defini și unitățile de măsură ale fluxului și ale inductanței (Mircea Oncescu : Mărimi și unități în fizică, I. pp. 278, 280).

Astfel totul este clar și simplu.

Confuziile apar prin faptul că unii autorii nu introduc factorul N în legea lui Faraday, ci îl cuprind în fluxul Φ, numindu-l flux total, ca și cînd prin creșterea numărului de spire al indusului ar fi crescut și fluxul. De fapt această noțiune complică în mod inutil lucrurile.

Iată un exemplu în acest sens :

Pe un miez de fier închis se consideră o bobină primară și una secundară. Inductorul cu N spire generează un cîmp, caracterizat prin fluxul $\Phi = \mu \frac{NS}{l} I$. Are rost să vorbim despre fluxul total $\Phi = N_1\Phi$? Nu, căci fluxul Φ a fost generat de toate cele N_1 spire și deci în cazul inductorului noțiunea de „flux total" nu are nici un sens. Este oare necesar să vorbim

despre un „flux total" $\Phi_2 = N_2\Phi$ al indusului? Nu este necesar, dacă scriem legea lui Faraday sub forma $e = -N\frac{d\Phi}{dt}$. Considerînd mai multe bobine, am putea introduce atîtea „fluxuri totale" cîte bobine sînt, cu toate că avem un singur cîmp magnetic, caracterizat prin fluxul $\Phi = \mu\frac{NS}{l}I$.

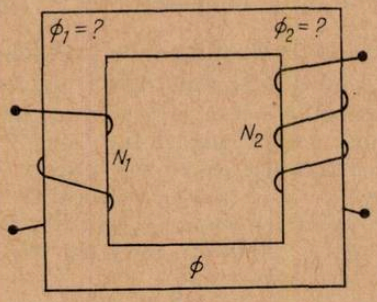


Fig. 1

Deci noțiunea de „flux total" nu este întemeiată din punct de vedere teoretic, este inutilă și provoacă confuzii. Chiar și în unele culegeri de probleme s-au strecurat greșeli din această cauză.

Pentru a evita contradicțiile și erorile, e bine să definim precis și cu un singur sens noțiunea fluxului de inducție magnetică și să folosim formulele $\Phi = BS$; $e = -N\frac{d\Phi}{dt}$; $\Phi = \frac{L}{N}I$.

Să nu spunem „fluxul bobinei" ci „fluxul de inducție al cîmpului magnetic din interiorul bobinei".

E bine ca mărimea $\Phi = BS$ să fie menționată cu numele întreg: flux de inducție magnetică sau flux de inducție, căci sub denumirea de flux magnetic putem înțelege și mărimea $\varphi = HS$. Desigur, putem spune și simplu, flux, dacă din context reiese despre care flux este vorba. La fel, e bine să vorbim de linii de inducție, dacă acestea reprezintă mărimea B, căci sub denumirea de linii de cîmp putem înțelege și liniile care reprezintă intensitatea cîmpului magnetic H.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

CĂTRE COLABORATORII NOȘTRI,

Articolele, notele și orice materiale destinate publicării în Revista de Fizică și Chimie seria A trebuie să fie redactate clar și concis (maximum 10 pagini dactilografiate la două rînduri) în două exemplare, însoțite de figuri desenate separat de text, cît mai sugestive, de preferință în tuș pe calc. Fotografiile trebuiesc executate în contrast puternic alb-negru. Figurile și fotografiile trebuiesc trimise de asemenea în două exemplare.

Articolele trebuiesc semnate (dactilografiat) imediat sub titlu împreună cu titlul didactic și localitatea autorului.

Pe ultima pagină, pe ambele exemplare trebuie scrisă complet adresa autorului.

În același plic cu materialul colaboratorii noștri sînt rugați să introducă și o carte poștală cu adresa proprie (la destinatar) pentru a ne ajuta în promptitudinea răspunsului.

Materialele ne publicate nu se restituie autorilor.

Pe adresa redacției primim propunerile și sugestiile Dvs. cu privire la tematica Revistei, note critice asupra articolelor publicate pînă acum.

Dorim ca Revista de Fizică și Chimie să vă fie de un real folos în activitatea Dvs. științifică și didactică.

Pentru a veni în sprijinul cititorilor care doresc să-și procure numere mai vechi din RFC, anunțăm că se mențin în vînzare, un an de la apariție, cîteva exemplare din fiecare număr la magazinele de anticariat ale Direcției de Expediere a Presei. Dăm adresa lor:

București: Bd. Magheru nr. 18 sector I; Cluj: Str. Dr. Petru Groza nr. 32; Iași: Piața Unirii nr. 7; Timișoara: Str. 9 Mai nr. 3.

Pentru a vă asigura cu regularitate revista, și a avea completă colecția, abonați-vă pe o perioadă mai indelungată.

Costul unui abonament anual lei 36.

Costul unui abonament pe 6 luni lei 18.

Comitetul de Redacție

I. P. „Informația" c. 1598 | Index 43 459 | Lei 3

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL IX

9

SEPTEMBRIE 1972
RFCABV 9(9) 321–360 (1972)

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI—46, TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag

Cercet. *Claudiu Georgescu*, București

1. Straturile subțiri — componentă a laserilor 321

Nicolae Ionescu Pallas, București

2. O metodă euristică de introducere a conceptelor mecanicii clasice 325

Lector dr. *F. C. Aczel*, Timișoara

3. Frecarea internă la metale 331

Prof. univ. *Gavril Niac*, Craiova

4. Concepții moderne despre acizi și baze reflectate în manualele universitare și de liceu 339

I. Ardeleanu, N. Tarau și M. Zbarcea, Cluj

5. Rolul problemelor de fizică în instrucția și educația elevilor 347

Prof. emerit *Cornelia Gheorghiu*, București

6. Realizarea educației patriotice a elevilor de către profesorul de chimie 350

Pentru clasele speciale de fizică

Lector *Ioan Druică Zeletin* și asist. *Dante Demirian*, București

7. Energia cîmpurilor electric și magnetic 354

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, conf. univ; Teodor Bohățiel, lector univ; Simion Bulgărea, prof.; Maria Codreanu, prof.; Andra Körner, redactor; Nicolae Martalogu, conf. univ.; Eleonora Mihul, cercetător; Ion C. Moisil, conf. univ.; Alice Negoescu, prof.; Ion C. Petrea, conf. univ.; Victor Sahini, prof.univ. (m. c. Acad. Repbulicii Socialiste România); Elena Teodoru, prof.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

Seria A

Anul IX Nr. 9 septembrie 1972

STRATURILE SUBŢIRI – COMPONENTĂ A LASERILOR

CLAUDIU GEORGESCU, I.F.A. - Bucureşti

1. Funcţionarea laserilor necesită introducerea mediului activ (mediul în care are loc inversia de populaţie) între două oglinzi puternic reflectante ce alcătuiesc o cavitate rezonantă. Emisia laser are loc numai dacă e îndeplinită condiţia de prag :

$$I - I_0 \geqslant I(1-R) \tag{1}$$

altfel spus, dacă cîştigul în intensitate pe lungimea rezonatorului este cel puţin egal cu pierderea pe o oglindă. R din (1) reprezintă coeficientul de reflexie al oglinzii şi este definit ca fiind raportul dintre intensitatea reflectată şi cea incidentă :

$$R = \frac{I_r}{I_i}$$

se urmăreşte ca acest coeficient, pentru lungimea de undă pe care lucrează laserul, corespunzătoare tranziţiei de frecvenţă ν între două nivele de populaţie inversată, să fie cît mai mare, practic să tindă spre unitate. Din relaţia care leagă coeficientul de reflexie de cel de transmisie şi de absorbţie :

$$R = 1 - T - A \tag{2}$$

se observă că pentru a mări coeficientul de reflexie este necesar să alegem materiale pentru care A este foarte mic, practic nul.

2. Problema de bază care se pune la construirea de oglinzi pentru laseri este următoarea : fiind dat un număr limitat de materiale în care constantele optice sînt cunoscute, să descriem o combinaţie de multistraturi a unuia sau a tuturor acestor materiale (de exemplu să specificăm grosimea şi ordinea straturilor) care prescriu proprietăţile de reflexie, transmisie, absorbţie şi schimbare de fază (asupra reflexiei sau transmisiei) pentru o anumită lungime de undă.

Proprietăţile optice ale fiecărui strat sînt descrise complet printr-un indice de refracţie (n_j pentru cazul cînd absorbţia este 0 sau $\eta_j = n_j - ik_j$ pentru cazul în care există absorbţie) şi printr-o grosime fizică k_j.

Pornind de la definiţiile reflexiei şi transimisiei, utilizînd ecuaţiile lui Maxwell (1, 2) găsim pentru un singur strat neabsorbant expresiile :

$$R = \frac{(n_o - n_s)^2 \cos^2\beta + \left(\frac{n_o n_s}{n} - n\right)^2 \sin^2\beta}{(n_o + n_s)^2 \cos^2\beta + \left(\frac{n_o n_s}{n} + n\right)^2 \sin^2\beta} \tag{3}$$

$$T = I - R = \frac{4 n_o n_s}{(n_o + n_s)^2 \cos^2\beta + \left(\frac{n_o n_s}{n} + n\right)^2 \sin^2\beta} \tag{4}$$

unde : n_0, n_s și n sînt indicii de refracție ai aerului, substratului și stratului depus.

$$\beta = \frac{2\pi nd}{\lambda}$$

reprezintă faza.

Din condiția de fază $\beta = \frac{\pi}{2}$; π ... rezultă :

$$nd = \frac{\lambda}{4} \tag{5}$$

în acest caz, grosimea optică este un multiplu întreg de $\lambda/4$, iar coeficientul de reflexie al stratului este dat de expresia :

$$R = \left(\frac{n_0 n_s - n^2}{n_0 n_s + n^2}\right)^2 \tag{6}$$

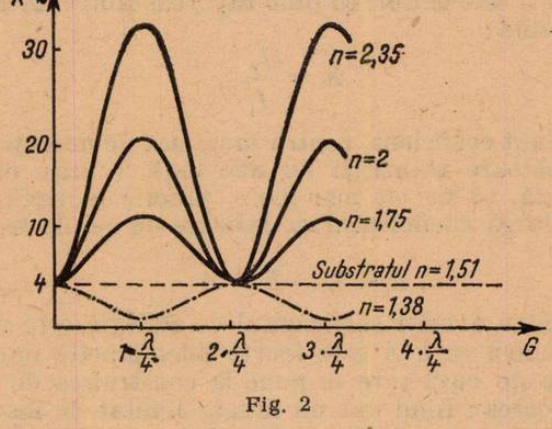


Fig. 2

Pentru $n^2 > n_0 n_s$ funcția este crescătoare în raport cu n. Figura 2 indică variația reflexiei cu grosimea stratului pentru diverși indici de refracție. Se observă că depunerea unui strat de grosime optică $\frac{\lambda}{4}$, cu $MgFe_2$ ($n = 1{,}38$) duce la scăderea reflexiei. Meterialul este des utilizat în construcția de dispozitive antireflectante. Depunerea de materiale cu $n > n_s$, crește reflexia substratului. Un calcul simplu arată că depunerea unui strat de grosime optică, dintr-un material cu $n = 3$, pe un suport de sticlă ($n_s = 1{,}51$) poate crește reflexia acestuia de la 4% la 50%.

Laserii care lucrează în vizibil (Laserul cu He-Ne, Laserul cu Cd-He, Laserul cu Ar^+) ca și cei din infraroșu apropiat (Laserul cu neodim) utilizează combinații de straturi neabsorbante. Se depun alternativ straturi cu indici de refracție ridicați și coborîți astfel ca $\beta_H = \beta_L$ (H = high, L = low). Utilizarea lor vine de la faptul că, combinațiile de straturi în $\frac{\lambda}{4}(\beta_H = \beta_L)$, pot da reflexii foarte mari, fiind încă neabsorbante.

Teoretic și experimental se constată o creștere a reflexiei odată cu creșterea numărului de straturi.

Figura 3 dă reflexia pentru un număr impar de straturi alternante de ZnS ($n_1 = 2{,}3$) şi MgF_2 ($n_2 = 1{,}38$) depuse pe sticlă ($n_s = 1{,}52$) funcţie de β, în unităţi de $\frac{\pi}{2}$. Curbele arată pentru un număr impar de straturi regiunea de înaltă reflectivitate şi oscilaţiile lui R în afara acestei

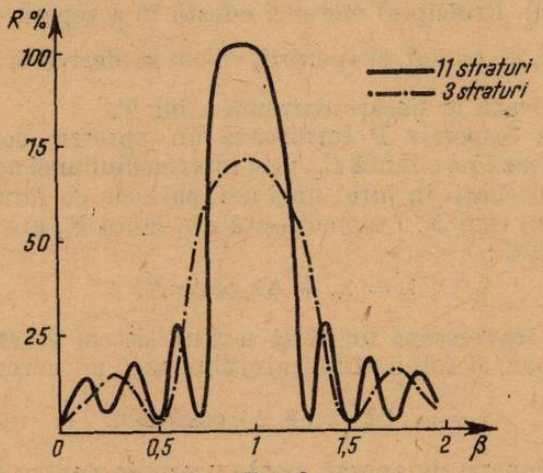


Fig. 3

regiuni. Funcţia e periodică în β cu perioada π şi simetrică în raport cu $\beta = \frac{1}{2}\pi = \beta_0$.

3. Caracteristicile dispozitivelor optice depind foarte mult de precizia cu care se apreciază grosimea straturilor. O eroare foarte mică introdusă în aprecierea acestor grosimi duce în final la scăderea reflexiei.

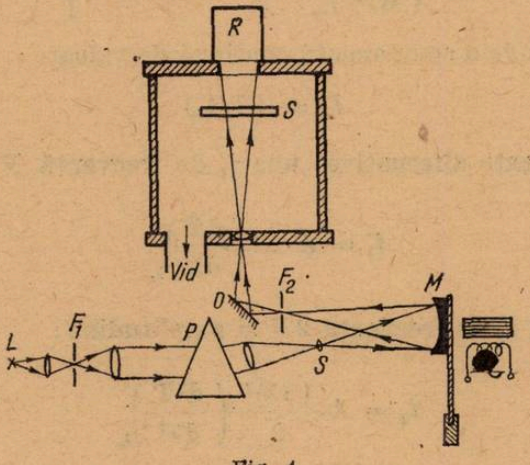


Fig. 4

O metodă simplă de control constă în a măsura în permanenţă transmisia sau reflexia şi de a opri evaporarea cînd se atinge maximul sau minimul căutat. Procedeul, simplu de realizat practic, este puţin

precis. Nu sîntem siguri niciodată că am oprit evaporarea exact în extrem. Dacă în plus sistemul de măsură (sursă, fotomultiplicator) are fluctuații, precizia măsurării devine foarte proastă. Metoda de măsură, des întîlnită în practică datorită simplității ei, e folosită la realizarea dispozitivelor optice cu caracteristici medii.

Dificultățile întîlnite mai sus se pot înlătura folosind metoda diferențială. (3, 4, 5). Principiul metodei constă în a separa direct pe ansamblul de straturi, în cursul evaporării, valoarea derivatei $\frac{dT}{d\lambda}$. Această derivată se anulează la fiecare extremă a lui T.

Un sistem dispersiv P furnizează un spectru continuu a cărui imagine se formează pe o fantă F_2, prin intermediul unei oglinzi concave M, susceptibilă de oscilații în jurul unei axe paralele cu fanta. Frecvența de vibrație a oglinzii este N. Lumina ieșită din fanta N_2 are astfel o lungime de undă modulată:

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda \cos 2\pi Nt \tag{7}$$

Dacă fasciculul traversează un strat sau un sistem de straturi de transmisie $T(\lambda)$, răspunsul fotomultiplicatorului va fi un curent avînd forma:

$$i = AT(\lambda_0 + \Delta\lambda \cos 2\pi Nt) \tag{8}$$

Coeficientul A, funcție de aparat, poate prezenta pentru el o selectivitate pentru lungimile de undă, însă se presupune că A este independent de λ. Amplitudinea de modulație $\Delta\lambda$ fiind mică, (8) se poate dezvolta în serie după puterile lui $\Delta\lambda$.

$$i = A\left[T(\lambda_0) + \left(\frac{dT}{d\lambda}\right)_{\lambda_0} \Delta\lambda \cos 2\pi Nt + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{d^2T}{d\lambda^2}\right)_{\lambda_0} \frac{(\Delta\lambda)^2}{2} \cos^2 2\pi Nt\right] \tag{9}$$

Curentul i cuprinde o componentă continuă de valoare:

$$I_0 = AT(\lambda_0)$$

și două componente alternative: una i_1 de frecvență N și amplitudine:

$$i_1 = A \cdot \Delta\lambda \left(\frac{dT}{d\lambda}\right)_{\lambda_0}$$

și o componentă i_2 de frecvență $2N$ și amplitudine:

$$i_2 = A \frac{(\Delta\lambda)^2}{2} \left(\frac{d^2T}{d\lambda^2}\right)_{\lambda_0}$$

Dacă se amplifică selectiv numai componenta i_1, se pot determina cu precizie punctele de extrem.

În ultimul timp se utilizează cu succes metoda oscilatorului cu cristal de cuarț, bazată pe măsurarea variației frecvenței de rezonanță a unui

cristal de cuarț datorită depunerii unei mase de substanță suplimentare pe una din fețele sale (6). Variația de frecvență, df, în urma depunerii masei dm, este dată de relația :

$$df = -\frac{f^2}{N\rho_q}\frac{dm}{F} \qquad (10)$$

unde : f reprezintă frecvența inițială de rezonanță a cristalului ; N este o constantă care depinde de unghiul de tăiere al cristalului ; ρ_q — este densitatea cuarțului ; F — aria lamei.

Pentru df mult mai mic decît f, frecvența de rezonanță scade aproximativ liniar cu încărcarea cristalului.

Metodele moderne de evaporare (cea a tunului electronic, a evaporării cu fascicul laser) și de măsură au permis construirea unor oglinzi pentru laseri ce îmbină calități optice excelente cu o mare robustețe mecanică și durabilitate în timp.

BIBLIOGRAFIE

1. *L. Holland* Vacuum deposition of thin films 1958.
2. *H.A. Macleod* Thin-film optical filters 1969.
3. *P. Giacomo* et *P. Jacquinot* Journal de Physique Radium vol. 13, 1952.
4. *P. Giacomo* Revue d'optique N. 6, 1956.
5. *Tsukasa Sawaki* Journal de Physique T. 25 1964 pag. 258.
6. *L. Holland* Thin Film Microelectronics.

O METODĂ EURISTICĂ DE INTRODUCERE A CONCEPTELOR MECANICII CLASICE

NICOLAE IONESCU-PALLAS, IFA, București

Mecanica zisă „clasică" este — cel puțin în ceea ce privește fundamentele ei — opera a trei cunoscuți savanți de la finele secolului al XVII-lea : Isaac Newton (1642—1727), Robert Hooke, (1635—1703) și Domenico Cassini (1625—1712). Dezvoltările ulterioare, datorate în special lui Joseph Louis Lagrange (1736—1813) și Hermann von Helmholtz (1821—1894) nu ies din cadrul principial fixat de antecesori. Un alt succes metodologic este descoperirea calculului vectorial de către Rowan Hamilton (1805—1865). Astăzi, mecanica clasică, în varianta numită „mecanică analitică" are un cîmp de aplicații atît de vast și este atît de elaborată din punct de vedere matematic, încît trece drept unul din domeniile tihnite ale fizicii. Și totuși, noțiuni ca „masă", „forță", „punct material", etc. nu sînt deloc ușor de definit — din contră, la o analiză serioasă, sîntem nevoiți a recunoaște că în ceea ce numim noi „definiții" intră în mare

măsură reprezentări intuitive care lasă o pronunţată stare de insatisfacţie. În abordarea prezentată de noi, acordăm o pondere mult mai mare conceptelor şi reprezentărilor geometrice ale mişcării mecanice, astfel încît noţiunile de „masă" şi de „forţă" să fie puternic sugerate de studiul geometric, iar introducerea lor să aibă drept consecinţă existenţa unor mărimi conservative şi proprietăţi de simetrie remarcabile ale sistemului mecanic considerat. În ceea ce priveşte noţiunea de punct material, vom adopta convenţia că acesta este centrul unei mici sfere umplută omogen şi izotrop cu substanţă. Natura chimică a substanţei din sfera respectivă nu ne interesează şi nici rotaţia sferei faţă de centrul ei. Prin „sferă mică" înţelegem că raza acesteia este incomparabil mai mică decît distanţele „punctului material" faţă de alte „puncte materiale" din sistemul mecanic studiat. Această definiţie a servit lui Newton la edificarea mecanicii cereşti. Menţionăm că o problemă de mişcare mecanică (cu excepţia mişcării inerţiale — care se efectuează rectiliniu şi uniform) reclamă existenţa a minimum două corpuri, deoarece în natură schimbările în starea mecanică a unui corp sînt determinate de prezenţa altor corpuri (interacţiune).

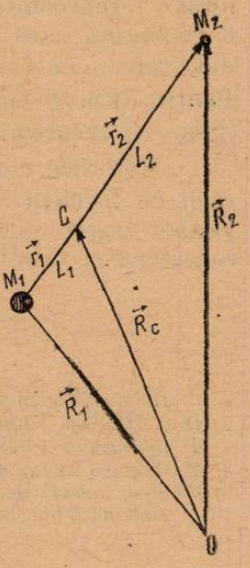


Fig. 1

Pentru a obţine pe cale inductivă ecuaţiile generale ale mecanicii, este necesar să cunoaştem măcar un caz de mişcare neinerţială (adică accelerată), căruia să-i putem scrie ecuaţia de mişcare din considerente geometrice şi nu mecanice. Cazul care ni se oferă în mod frecvent este mişcarea uniform accelerată în căderea liberă (în vid) a unui corp către pămînt. Cele două corpuri în interacţiune sînt aici, corpul care cade şi pămîntul însuşi. Disproporţia mare între dimensiunile corpului şi ale pămîntului nu ne permite însă să determinăm acţiunea corpului asupra pămîntului ci numai cea a pămîntului asupra corpului. Alegerea acestei mişcări nu este fericită pentru scopul urmărit de noi. Un caz adecvat ne este furnizat însă de rotatorul dublu (fig. 1). Cele două corpuri M_1 şi M_2 se rotesc faţă de punctul C astfel încît punctele M_1, C şi M_2 să fie totdeauna colineare (putem realiza aceasta printr-o joncţiune rigidă). Admitem că rotaţia este uniformă. În acest caz, din consideraţii pur geometrice, se deduc următoarele ecuaţii de mişcare faţă de punctul C luat drept origină a unui reper cartesian de coordonate :

$$\ddot{\vec{r}}_1 = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \vec{r}_1, \quad \ddot{\vec{r}}_2 = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \vec{r}_2 \tag{1}$$

Prin punct s-a notat derivata în raport cu timpul, iar prin T perioada comună de rotaţie a celor două corpuri (puncte materiale). Deoarece

$$\vec{r}_1 = \frac{L_1}{L_1 + L_2}(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) \quad \text{şi} \quad \vec{r}_2 = \frac{L_2}{L_1 + L_2}\left(\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right)$$

ecuaţiile (1) pot fi scrise sub forma alternativă :

$$\frac{1}{L_1}\ddot{\vec{r}}_1 = +\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \frac{\vec{r}}{L}, \quad \frac{1}{L}\ddot{\vec{r}}_2 = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \frac{\vec{r}}{L} \tag{2}$$

unde s-a notat prin L distanţa (constantă) dintre cele două corpuri şi prin $\vec{r}$ vectorul distanţei relative $\vec{r} = (\vec{r}_2 - \vec{r}_1)$. Să scriem acum ecuaţiile de mişcare (2) în raport cu punctul O. Deoarece configuraţia geometrică din fig. 1 este plană, obţinem ecuaţiile căutate fără nici o dificultate :

$$\frac{1}{L_1}\ddot{\vec{R}}_1 = +\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \frac{\vec{R}}{L} + \frac{1}{L_1}\ddot{\vec{R}}_c; \quad \frac{1}{L_2}\ddot{\vec{R}}_2 = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \frac{\vec{R}}{L} + \frac{1}{L_2}\ddot{\vec{R}}_c \tag{3}$$

unde, consecvenţi notaţiei, am scris $\vec{R} = (\vec{R}_2 - \vec{R}_1)$. Din compararea între formulele (2) şi (3) tragem următoarea concluzie de importanţă excepţională : Forma ecuaţiilor de mişcare rămîne neschimbată prin trecerea de la reperul C la reperul arbitrar O, dacă punctul C se mişcă faţă de O astfel încît $\ddot{\vec{R}}_c = 0$. Admitem că această condiţie este satisfăcută. Aceasta înseamnă că de-acum încolo vom privilegia clasa sistemelor de referinţă supuse respectivei restricţii (vom avea, cu alte cuvinte, de-a face numai cu referenţiale în mişcarea rectilinie şi uniformă unele faţă de altele, adică inerţiale). Tot din consideraţii exclusiv geometrice (a se inspecta fig. 1) deducem că expresia vectorului R_c este următoarea :

$$\vec{R}_c = \frac{1/L_1}{1/L_1 + 1/L_2}\vec{R}_1 + \frac{1/L_2}{1/L_1 + 1/L_2}\vec{R}_2 \tag{4}$$

Deoarece, prin ipoteză, $\ddot{\vec{R}}_c = 0$, rezultă că $\dot{\vec{R}}_c$ este constant (ceea ce se poate deduce şi din ecuaţiile (3) prin adiţionarea membru cu membru şi efectuarea integrării o singură dată). Să introducem acum o constantă k astfel încît la o transformare homotetică a figurei 1, mărimile $\mu_1 = k/L_1$, $\mu_2 = k/L_2$ şi $k_0 = k/L$, să rămînă neschimbate. În acest caz, (μ_1, μ_2) sînt nişte mărimi specifice corpurilor (M_1, M_2), iar k_0 o cantitate care se raportă la interacţiunea dintre corpuri. Constanţa lui $\dot{\vec{R}}_c$ şi ecuaţiile de mişcare se vor scrie sub forma :

$$\vec{\mathfrak{L}} = (\mu_1 + \mu_2)\dot{\vec{R}}_c = (\mu_1\dot{\vec{R}}_1 + \mu_2\dot{\vec{R}}_2) \tag{5}$$

respectiv :

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\mu_1\dot{\vec{R}}_1) = +k_0\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \vec{R}, \quad \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\mu_2\dot{\vec{R}}_2) = -k_0\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \vec{R} \tag{6}$$

Ecuaţiile (5) şi (6) sînt nişte cazuri particulare ale ecuaţiilor generale ale mecanicii, pe care dorim să le deducem. Menţionăm că Robert Hooke a ajuns la ecuaţiile (6) studiind mişcarea unui oscilator armonic. Înainte de a proceda la generalizarea dorită, este util să tragem unele concluzii care decurg din introducerea mărimilor caracteristice μ şi din integrarea ecuaţiilor diferenţiale (6). În privinţa definirii cantităţilor μ, este importantă nu numai invarianţa homotetică în problema rotatorului dublu

ci — deopotrivă — optimizarea raportului L_1/L_2 astfel încît inerţialitatea punctului C să fie asigurată. Din acest motiv, vom numi mărimile μ, coeficienţi de inerţie. Este clar că vom putea astfel (în principiu) determina coeficienţii de inerţie ai tuturor corpurilor odată ce am admis, prin convenţie, că — de exemplu — coeficientul de inerţie al unui cm³ de apă distilată, la temperatura de 4°C şi presiunea de 760 mm Hg este 1. S-a adoptat pentru această unitate denumirea „gram", iar pentru mărimea μ, aceea de „masă inerţială". Să vedem acum ce concluzii obţinem din integrarea ecuaţiilor (6). Mai întîi, prin înmulţirea vectorială — prima ecuaţie cu $\vec{R}_1$, iar a doua cu $\vec{R}_2$ şi efectuarea unei integrări care este evidentă, ajungem la următoarea mărime conservativă :

$$\vec{\mathfrak{M}} = \mu_1 \dot{\vec{R}}_1 \times \vec{R}_1 + \mu_2 \dot{\vec{R}}_2 \times \vec{R}_2 \tag{7}$$

De remarcat faptul că vectorul $\vec{\mathfrak{M}}$, la fel ca vectorul $\mathfrak{L}$, nu numai că îşi păstrează valoarea în timp, dar nici nu depinde explicit de vreo caracteristică a cuplului celor două corpuri (M_1, M_2) cum ar fi perioada T sau impoziţia joncţiunii rigide R = constant. Această observaţie ne îndreptăţeşte să considerăm că rezultatele (5) şi (7) au o valabilitate generală şi să procedăm la acea generalizare a ecuaţiilor de mişcare (6) care va asigura păstrarea formei vectorilor constanţi $\vec{\mathfrak{L}}$ şi $\vec{\mathfrak{M}}$.

Vom admite că o ecuaţie de forma

$$\ddot{\vec{R}} = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \Psi(\cos\vartheta)\vec{R} \tag{8}$$

este valabilă şi în cazul cînd joncţiunea rigidă dintre corpuri este înlocuită cu interacţiune. Acum Ψ poate fi, fie o constantă cînd mişcarea este rotatorie fie o veritabilă funcţiune de ϑ, cînd corpurile descriu ovale. (Ecuaţia precedentă a fost obţinută din (6) prin următoarea procedură : s-a împărţit prima ecuaţie cu μ_1, a doua cu μ_2, s-au scăzut apoi una din alta şi în ecuaţia rezultantă s-a substituit mărimea $\left(\frac{1}{\mu_1}+\frac{1}{\mu_2}\right)k_0$, cu $\Psi(\cos\vartheta)$. Din forma specifică a ecuaţiei (8) rezultă, prin înmulţire vectorială cu $\vec{R}$ şi integrare simplă, că ovalele nu vor fi parcurse uniform ci într-un ritm impus de celebra lege a ariilor descoperită de Johann Kepler (1571—1630) $\vec{R}\times\dot{\vec{R}} =$ const. Adoptînd pentru ecuaţia ovalului o expresie de tipul :

$$\vec{R} = F(\cos\vartheta)\{\vec{i}\cos\vartheta + \vec{j}\sin\vartheta\} \tag{9}$$

rezultă că legea ariilor devine $\dot{\vartheta} = 2\left(\frac{S}{T}\right)\frac{1}{F^2}$ unde S este suprafaţa ovalului. Este uşor de constatat că această generalizare satisface condiţiile cerute anterior. În ceea ce priveşte însă forma ovalelor, nu avem nici o indicaţie teoretică. Kepler a propus din motive de simplitate elipsa, care poate fi definită ca locul geometric al punctelor pentru care media aritmetică a dinstanţelor la două puncte fixe numite focare este constantă $\left\{\frac{1}{2}(r_1+r_2) = \text{const.}\right\}$. Cassini a admis — cu egal temei — media geometrică

în locul celei aritmetice $\{(r_1 r_2)^{1/2} = \text{const.}\}$. De menţionat că atît elipsele lui Kepler cît şi ovalele lui Cassini duc — pentru excentricităţi mici — la predicţiuni identice, astfel încît obţinerea legii în $1/r^2$, de către Newton, sau a constantei raportului între pătratele perioadelor planetelor şi cuburile axelor mari ale acestora, nu erau de fapt argumente în favoarea elipselor. Argumentul peremptoriu a venit însă din studiul cometelor şi al sateliţilor artificiali cu traiectorie foarte excentrică. În timp ce elipsele îşi păstrează convexitatea indiferent de gradul de alungire, ovalele lui Cassini încep la un moment dat să se gîtue şi mai apoi să se fragmenteze în două ovale distincte. (De menţionat că tocmai această particularitate a ovalelor Cassini care le-a făcut inapte în explicarea fenomenului gravitaţional, le-a recomandat ca oportune în studiul fisiunii nucleare). Prin calcule directe deducem că funcţiunile Ψ şi F sînt legate între ele prin ecuaţia diferenţială de ordinul 2 :

$$\Psi = \frac{1}{\pi^2}\frac{S^2}{F^3}\left\{\left(\frac{1}{F}\right) - \xi\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\xi}\left(\frac{1}{F}\right) + (1-\xi^2)\frac{\mathrm{d}^2}{\mathrm{d}\xi^2}\left(\frac{1}{F}\right)\right\} \tag{10}$$

în care ξ, este $\cos\vartheta$. Această ecuaţie rezultă din impoziţia ca (9) să fie soluţie a lui (8). În cazul elipsei, F este dat de formula lui Sylvestre Lacroix (1765—1843) :

$$F(\cos\vartheta) = a\frac{1-\varepsilon^2}{1-\varepsilon\cos\vartheta} \tag{11}$$

a cărei aplicare în cazul nostru presupune că raportul între masa de inerţie a soarelui şi a planetei este atît de mare încît centrul geometric al soarelui coincide practic, cu centrul comun de rotaţie care — la rîndul lui — se identifică, din raţiuni nu prea evidente, cu unul din focarele elipsei. Din (11) şi (10) rezultă atunci pentru Ψ expresia $\Psi = \left(\frac{a}{R}\right)^3$. Un argument formal în favoarea elipsei ar fi şi faptul că atunci cînd $(1/F)$ este o expresie liniară, în ξ, ecuaţia (10) devine diferenţială de ordinul întîi, deci foarte simplă. Pentru a ajunge efectiv la legea atracţiei universale, mai trebuie însă făcut apel la rezultatul experienţei lui Galileo Galilei (1564—1642) potrivit căruia acceleraţia căpătată de un corp în cădere liberă (în vid) la pămînt, nu depinde de nici o caracteristică a corpului respectiv. Revenind acum la ecuaţiile de mişcare de tip (6), acestea se vor scrie :

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\mu_1\vec{R}_1) = +\frac{\mu_1\mu_2}{\mu_1+\mu_2}(2\pi)^2\frac{a^3}{T^2}\frac{R}{R^3}, \quad \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\mu_2\vec{R}_2) =$$

$$= -\frac{\mu_1\mu_2}{\mu_1+\mu_2}(2\pi)^2\frac{a^3}{T^2}\frac{\vec{R}}{R^3} \tag{12}$$

(Expresiile (12) provin din substituirea în (6) a mărimii k_0 scoasă din ecuaţia $\left(\frac{1}{\mu_1}+\frac{1}{\mu_2}\right)k_0 = \Psi$, unde $\Psi = \left(\frac{a}{R}\right)^3$. S-ar părea că la deducerea ecuaţiilor (12) s-a inclus o aproximaţie legată de aplicarea formulei elipsei. Această aproximaţie se raportă însă numai la datele observaţionale şi nu la ecuaţiile mecanicii. În definitiv, F din (11) reprezintă mărimea distanţei reciproce Soare-planetă). Experienţa lui Galileo, în-

terpretată în termenii ecuațiilor (12), cere să avem satisfăcute simultan condițiile:

$$\frac{\partial}{\partial \mu_1}\left\{\frac{\mu_2}{\mu_1+\mu_2}(2\pi)^2\frac{a^3}{T^2}\right\}=0, \quad \frac{\partial}{\partial \mu_2}\left\{\frac{\mu_1}{\mu_1+\mu_2}(2\pi)^2\frac{a^3}{T^2}\right\}=0 \qquad (13)$$

Soluția acestor ecuații este, evident, următoarea:

$$\frac{(2\pi)^2}{\mu_1+\mu_2}\left(\frac{a^3}{T^2}\right)=G \qquad (14)$$

unde prin G s-a notat celebra constantă a gravitației a lui Newton. Ecuațiile de mișcare capătă astfel forma finală:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\mu_1\vec{R}_1)=+G\mu_1\mu_2\frac{\vec{R}}{R^3}, \quad \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\mu_2\vec{R}_2)=-G\mu_1\mu_2\frac{\vec{R}}{R^3} \qquad (15)$$

Ne-a mai rămas de demonstrat un singur lucru, anume faptul că masele determinate cu ajutorul rotatorului sînt proporționale cu masele determinate cu ajutorul balanței. Pentru aceasta nu avem decît să relaxăm definiția punctului material pentru a aplica ecuațiile (15), chiar dacă distanța de la corpuri la centrul pămîntului nu este mult mai mare decît raza pămîntului. Ignorînd interacția dintre corpurile din cele două brațe ale balanței față de interacția separată a fiecărui corp cu pămîntul și efectuînd unele dezvoltări în serie, motivate de micimea raportului între înălțimea brațelor față de poziția orizontală (h_1, h_2) și raza pămîntului R_0, ajungem la concluzia că următoarea mărime este constantă în timp:

$$\varepsilon=\frac{1}{2}k(L_1+L_2)\,\vartheta^2+g(\mu_1h_1+\mu_2h_2) \qquad (16)$$

unde prin g s-a notat expresia $G\frac{\mu_T}{R_0^2}$, μ_T — masa pămîntului. Dar, potrivit definiției, $\mu_1=\frac{k}{L_1}\alpha\left|\frac{1}{h_1}\right|$, $\mu_2=\frac{k}{L_2}\alpha\left|\frac{1}{h_2}\right|$, astfel încît a doua paranteză din (16) este ea însăși constantă (este chiar nulă). Rezultă că $\vartheta=$ constant, adică balanța ori se află în poziția orizontală, ori într-una arbitrară ($\vartheta=\vartheta_0$), ori se rotește uniform. Configurațiile de rotator dublu și de balanță cu brațe neegale sînt echivalente. (Pentru realizarea poziției orizontale, se atașează la balanță, solidar legat de ea, un mic corp stabilizator în punctul de susținere, care acționează pe baza gravitației).

În încheiere să tragem cîteva concluzii. Pornind de la rotatorul dublu (cu brațe inegale) este posibilă definirea masei de inerție, cu condiția ca raportul lungimilor brațelor să fie astfel optimizat încît să fie asigurată inerțialitatea centrului de rotație. Definirea masei reclamă în plus invarianța configurației rotaționale la transformări de homotetie. Ca rezultat al îndeplinirii acestor condiții, ecuațiile diferențiale (vectoriale) de ordinul 2 devin invariante la schimbarea reperului în interiorul clasei sistemelor de referință inerțiale. Într-o etapă ulterioară, ecuațiile mișcării circulare sînt generalizate pentru a include mișcarea pe elipsă, fără însă a altera forma integralelor vectoriale ale mișcării. Rezultatele acestei investigații, coroborate cu concluziile experienței despre căderea liberă a corpurilor la pămînt, duc în final la legea atracției universale a lui New-

ton. Pentru completitudine se arată că, din punct de vedere mecanic, configurațiile de rotator dublu și de balanță cu brațe inegale sînt echivalente, astfel încît masele de inerție (determinate cu rotatorul) sînt proporționale cu masele gravitaționale (determinate cu balanța). Am dori să mai menționăm faptul că legea descoperită de Newton nu este singura care

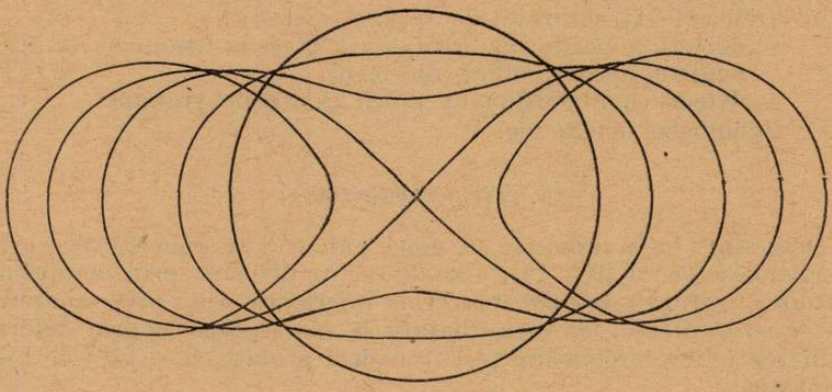


Fig. 2. Fisiunea simetrică a unei sfere (cu conservarea volumului) trecînd printr-o secvență de ovale Cassini

— via formula (10) — duce la o interacție exprimabilă în termeni de distanță reciprocă. Un alt exemplu — găsit de noi — poate fi exprimat prin ecuațiile :

$$\ddot{\vec{R}} + 2\left(\frac{\pi}{T}\right)^2\left(\frac{R_0}{R}\right)^6\vec{R} = 0,\quad \vec{R} = R_0\cos\vartheta\{\vec{i}\cos\vartheta + \vec{j}\sin\vartheta\} \qquad (17)$$

care descriu o traiectorie în formă de 8 și care ar putea servi de exemplu la o explicație clasică a stabilității moleculei-ion de hidrogen. Desigur mai sînt și alte soluții încă ne cercetate.

FRECAREA INTERNĂ LA METALE*

Lector dr. *F.C. ACZEL*, Timișoara

B. Cauze ale frecării interne

Frecarea internă se datorește unui mare număr de fenomene, ce se desfășoară la scară microscopică și dintre care unul sau altul intervin mai mult sau mai puțin în funcție de natura metalului, de impuritățile lui, de condiții experimentale, temperatură, frecvență etc. Avînd în vedere cauzele frecării interne, s-ar impune de fapt renunțarea la termenul „frecare" și înlocuirea lui cu „amortizare", cum s-a făcut în limba engleză și germană. Din motive istorice el s-a păstrat însă nu numai în limba română, ci și în limba franceză, în limba rusă, etc.

Cauzele frecării interne se pot grupa în funcție de efectul lor, adică în funcție de tipul de amortizare pe care îl produc : relaxare, rezonanță sau histereză. Aici vom recurge însă la o succesiune reclamată de însăși

* Urmare din R.F.C. seria A nr. 8/1972

natura cauzelor, arătînd totodată tipul de frecare internă, la care cauza respectivă dă naştere. De asemenea ne rezumăm la cele mai importante şi interesante cauze, renunţînd la o tratare cantitativă a fenomenelor, care ar necesita extensiunea unui tratat. Vom respecta următoarea clasificare a cauzelor frecării interne :

a) Termoelasticitatea.

b) Defectele structurale ale reţelei cristaline :
— defecte punctiforme (care dau naştere la fenomene de difuzie),
— defecte lineare, adică dislocaţii,
— defecte bidimensionale, adică limite de granule.

c) Fenomene magnetice.

§6. *Termoelasticitatea*

Dacă unei bare rezemate în două puncte i se aplică brusc o forţă perpendiculară pe ea (fig. 14), aceasta se va deforma prin comprimarea straturilor superioare şi dilatarea celor inferioare. Dar prin comprimare straturile se încălzesc, iar prin dilatare se răcesc, aşa că prin deformare apar diferenţe de temperatură atît în cadrul probei, cît şi faţă de mediul înconjurător.

Cu timpul însă aceste diferenţe dispar prin propagarea căldurii, iar partea iniţial încălzită se va răci şi se va contracta, pe cînd partea dila-

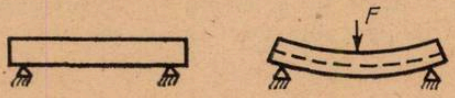


Fig. 14

tată se va dilata şi mai mult după ce s-a reîncălzit pînă la temperatura de echilibru. De aici se înţelege uşor că deformaţia măsurată nemijlocit după aplicarea forţei va fi mai mică decît după un anumit timp. Deformaţia poate fi interpretată ca fiind compusă dintr-o parte ε_0, măsurată la început şi alta suplimentară, ε_s, care provine de la egalizarea temperaturilor, variind în timp.

Din acest exemplu se vede că, dacă un metal este supus unor deformaţii periodice, apar gradienţi de temperatură, ce dau naştere la procesul ireversibil de propagare a căldurii. Ea conduce la o relaxare prin reegalizarea temperaturilor şi în consecinţă la deformaţii neelastice în contul energiei mecanice.

Dacă perioada de oscilaţie este mult mai mică decît timpul de relaxare, propagarea căldurii nu are timp să se realizeze şi oscilaţia decurge practic în mod adiabatic. Dacă în schimb perioada este foarte mare faţă de timpul de relaxare, atunci nu mai pot să apară diferenţe de temperatură şi procesul decurge practic izoterm. In aceste cazuri extreme fluxurile de căldură din interiorul probei sînt neglijabile şi frecarea internă are de asemenea o valoare neglijabilă. În felul acesta se explică maximele de frecare internă pentru perioade intermediare, de acelaşi ordin de mărime cu timpul de relaxare al procesului. Acest tip de frecare internă este independent de amplitudinea oscilaţiilor (la amplitudini relativ mici).

Termoelasticitatea produce o frecare internă pronunţată la deformaţii prin flexiune, dar una neînsemnată la torsiune şi la unde longitudinale.

§7. *Fenomene de difuzie*

Dacă un metal conţine atomi străini, constituind o soluţie solidă, aceştia ocupă anumite poziţii în reţeaua cristalină, impuse de condiţii de minim a energiei. Prin deformaţia cristalului distribuţia de echilibru a atomilor străini se poate schimba, ei trecînd în alte poziţii, energetic mai avantajoase. Schimbarea de poziţie, adică difuzia, are loc în anumite condiţii, astfel ca ea să fie legată de o absorbţie de energie, în detrimentul energiei mecanice macroscopice, conducînd la amortizarea oscilaţiilor probei, deci la o frecare internă. Uneori apare o difuzie chiar a atomilor proprii ai reţelei gazdă. Redistribuirea atomilor făcîndu-se într-un timp finit, se înţelege că frecarea internă astfel înregistrată va fi de tipul relaxării. În discuţia acestui fenomen distingem mai multe cazuri, dintre care amintim aici următoarele :

a) *Soluţii solide cu atomi interstiţiali în reţele cubice cu volum centrat.* Un maxim de frecare internă în funcţie de temperatură a fost înregistrat în 1941 de L. Snoek la metale cu reţea cubică centrată, care conţin atomi străini ; de ex. fierul alfa cu conţinut de carbon sau azot. La asemenea soluţii, atomii străini ocupă poziţii pe mijlocul laturilor (sau feţelor) reţelei cubice, astfel încît cristalul elementar îşi păstrează în principiu structura şi numărul de atomi, dar se deformează prin intercalarea acestor atomi.

Dacă proba este întinsă de pildă după direcţia z (fig. 15), în această

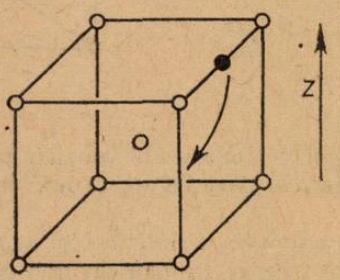


Fig. 15

direcţie se crează mai mult spaţiu atomilor străini, iar interstiţiile de pe direcţia z vor fi favorizate celor de pe alte direcţii.

Este evident că această ocupare preferenţială duce la o relaxare, care dă naştere la micşorarea momentului elastic de torsiune în cazul firelor ce execută oscilaţii de torsiune, contribuind la amortizarea mişcării.

Acest gen de frecare internă manifestă la fier, în jurul frecvenţei de 1 Hz, un maxim pronunţat la temperatura camerei. Maximul nu mai apare la fierul purificat de carbon sau azot, frecarea internă rămînînd într-un interval larg de temperatură, independentă de temperatură.

Măsurătorile de frecare internă de tip Snoek permit determinarea coeficientului de difuzie al atomilor străini în reţeaua cristalină a metalului, precum şi a concentraţiei lor.

b) *Soluţii solide cu atomi substituiţi în reţele cubice cu feţe centrate.* Un maxim de frecare internă a fost pus în evidenţă la monocristale de alamă alfa la 415°C cu o frecvenţă de 620 Hz de Cl. (Zener în 1943). Întrucît energia de activare a fost găsită egală cu cea a difuziei zincului în aliajul Cu-Zn, s-a tras concluzia, că această frecare internă se datoreşte tot unui fenomen de difuzie. Ulterior s-au găsit asemenea maxime şi la

alte aliaje. Spre deosebire de soluţiile cu atomi interstiţiali, aici fenomenul devine observabil abia la concentraţii mai mari (de la 10% în sus) ale atomilor substituiţi.

Explicaţia fenomenului porneşte de la observaţia că un atom substituit, chiar dacă dimensiunile sale sînt mai mari decît cele ale atomilor din reţeaua gazdă, produc distorsiuni absolut simetrice. În consecinţă nu apar poziţii privilegiate, cînd proba este supusă unei deformări. Dacă în schimb se vor găsi alături doi atomi străini, deformaţia induce o orientare a axei acestor perechi în direcţia alungirii probei (fig. 16). Înainte, axele perechilor de atomi substituiţi au avut direcţii arbitrare. După alungire ele se orientează preferenţial în direcţia alungirii, ceea ce dă naştere la o anelasticitate, deci la o frecare internă.

O analiză mai temeinică a acestui mecanism a condus la o neconcordanţă cantitativă dintre valoarea calculată şi cea observată a relaxării.

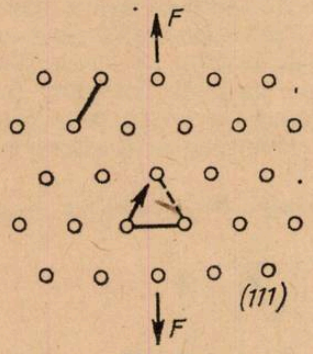


Fig. 16

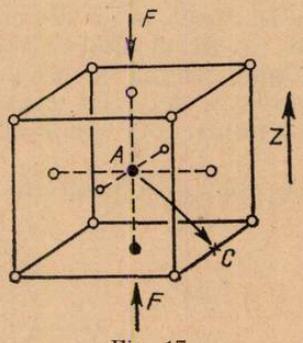


Fig. 17

De aceea s-au căutat perfecţionări ale teoriei, prin care se presupune că trebuie luate în considerare perechi de atomi substituiţi din vecinătatea de ordinul doi.

c) *Soluţii solide cu atomi interstiţiali şi substituiţi în reţele cubice cu feţe centrate.* Maxime de frecare internă la nichel, aliaje fier-nichel şi oţel austenitic au fost găsite de mai mulţi cercetători. Pentru interpretarea lor, Cheng şi Chang (1958) au propus următorul model de difuzie. În cristal există impurităţi de carbon (fig. 17), cu atomi fie în poziţii interstiţiale în centrul cuburilor (A), fie substituiţi, de exemplu în centrele feţelelor (B). Esenţial pentru apariţia frecării interne este prezenţa celor doi atomi de carbon în aceeaşi celulă, formînd o pereche, cu o axă orientată de pildă după direcţia z. Prin comprimarea probei după această direcţie, atomul interstiţial poate efectua un salt din A în C, provocînd o frecare internă.

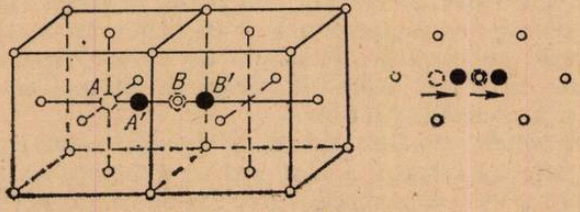


Fig. 18

d) *Atomi interstiţiali proprii în reţele cubice cu feţe centrate.* Asemenea atomi se obţin în urma deformaţiilor plastice sau a iradierii cu neu-

troni a nichelului, care prezintă un maxim de frecare internă la 80°C pentru o frecvență în jur de 1 Hz. Conform unor motivări teoretice, locul acestor atomi interstițiali nu este însă în centrul A al cubului (fig. 18). Acționînd asupra unui atom vecin B, din centrul unei fețe apropiate, el formează cu acesta o pereche în poziții deplasate A′, B′, cu o energie mai mică. Astfel rețeaua este distorsionată și la o solicitare exterioară variabilă se obține o frecare internă, atît datorită rotirii axei A′B′, cît și migrării perechii.

§8. *Dislocațiile*

Dislocațiile dau patru efecte principale de frecare internă, care se deosebesc între ele prin condițiile fizice în care se manifestă și își au originea în diferite procese microscopice.

a) *Maximul lui Bordoni.* Studiind frecarea internă a metalelor deformate plastic și avînd o rețea cubică cu fețe centrate (Cu, Al, Ag, Pb), P.G. Bordoni (1949) a găsit un maxim la temperaturi scăzute (între 4°K și temperatura camerei), pentru frecvențe între 10 și 40 kHz.

Proprietățile acestui maxim au permis atribuirea frecării interne respective unui proces de relaxare și elaborarea unei teorii, conform căreia maximul lui Bordoni își are originea în dinamica dislocațiilor. La început W.P. Mason (1955) consideră că dislocațiile se mișcă sub acțiunea unei solicitări, ca o bară rigidă. Dar A. Seeger (1955, 1965) arată că maximul lui Bordoni se datorește următorului mecanism.

Sub influența activării termice, apar în dislocații, trepte („kink") duble în planul de alunecare (fig. 19), ce nu sînt stabile, ci dispar din

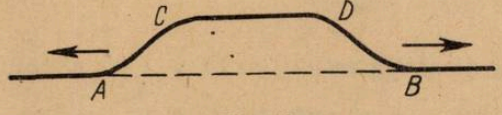


Fig. 19

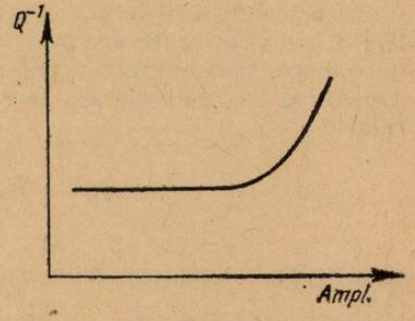


Fig. 20

cauza forței de atracție dintre cele două trepte AB și CD. Dacă apare o solicitare exterioară, ea poate să îndepărteze cele două porțiuni, ceea ce se petrece cu absorbție de energie, adică cu frecare internă. La coincidența dintre frecvența de formare a treptelor duble și frecvența solicitării, frecare internă atinge un maxim. Se poate menține constantă frecvența, cu modificarea concomitentă a temperaturii, adică a modificării frecvenței de apariție a treptelor duble.

b) *Frecare internă independentă de amplitudine la amplitudini mici și temperaturi joase.* La toate metalele se înregistrează la temperaturi joase și medii (< 200°C) o frecare internă, independentă de amplitudine, cît timp aceasta este mică, dar dependentă de amplitudine odată ce aceasta devine mai mare (fig. 20). Această curbă sugerează ideea că Q^{-1}, se com-

pune dintr-o parte independentă de amplitudine, Q_i^{-1}, și alta, Q_a^{-1}, care crește cu amplitudinea la amplitudini mari :

$$Q^{-1} = Q_i^{-1} + Q_a^{-1}. \tag{43}$$

Mai întîi ne ocupăm de Q_i^{-1}, pentru ca la punctul c) să revenim asupra lui Q_a^{-1}. Explicația acestui gen de frecare internă se datorește lui A. Granato și K. Lücke (1956) care s-au bazat pe o lucrare a lui J.S. Kolhler (1952). Se presupune că un segment de dislocație AB (fig. 21), limitat de noduri sau de trepte, prezintă puncte intermediare, C, D, E, F, prin care dislocația este ancorată de atomi de impuritate. Cît timp amplitu-

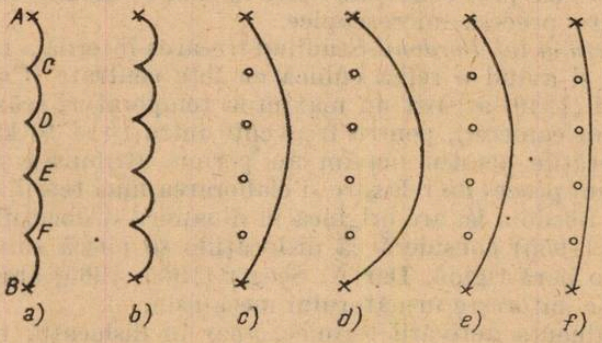


Fig. 21

dinea este mică, dislocația nu se desprinde de aceste puncte de ancorare (fig. 21, *a* și *b*)în fiecare porțiune oscilează forțat sub acțiunea solicitării exterioare. Considerînd că dislocația se mișcă între punctele C, D, E, ... precum o coardă elastică, se stabilește că frecarea internă este dată de relația :

$$Q_i^{-1} = K \frac{\Omega}{(1 - \Omega^2)^2 + \Omega^2/D^2}, \tag{44}$$

K și D fiind constante independente de amplitudine, iar $\Omega = \frac{\omega}{\omega_0}$, ω fiind pulsația oscilației impuse din exterior, iar ω_0 pulsația proprie (medie) a unuia din segmente.

Se observă că Q^{-1} este independentă de amplitudine, dar depinde de frecvență și ia o valoare maximă pentru o anumită valoare a lui ω. Frecarea internă este în acest caz de tipul rezonanței. Se înțelege că, din cauza lungimii foarte mici a segmentelor CD, DE, ... (de ordinul de mărime 10^{-5} cm) și a valorii foarte mici a masei efective a dislocațiilor, frecvența care generează acest tip de frecare internă este foarte mare, de ordinul MHz.

c) *Frecarea internă dependentă de amplitudine.* Dacă oscilațiile dobîndesc amplitudini mai mari, dislocația se poate desprinde de punctele de ancorare C, D, ... (fig. 21, *c*, *d*, *e*, *f*), oscilînd tot ca o coardă, dar de lungime mai mare, motiv pentru care acest tip de frecare internă se observă la frecvențe mai mici (de ordinul kHz). Desprinderea este un proces de

avalanşă, deoarece segmentul cel mai lung se desprinde cel mai uşor. Astfel el se lungeşte şi mai mult şi desprinderea continuă pînă la nodurile A şi B, de care dislocaţia este legată cu forţe mai mari. Ca urmare a acestui proces, diagrama $\sigma - \varepsilon$ are aspectul din fig. 22, care indică o histereză, responsabilă de frecarea internă.

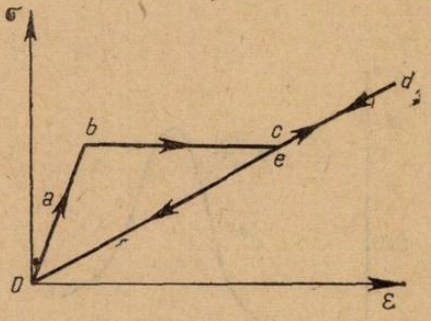


Fig. 22

Granato şi Lücke au stabilit că :

$$Q_d^{-1} = \frac{C_1}{\varepsilon_0} \exp\left(\frac{C_2}{\varepsilon_0}\right), \tag{45}$$

unde ε_0 este amplitudinea deformaţiei, iar C_1 şi C_2 constante, ce nu depind de frecvenţa oscilaţiilor.

d) *Frecarea internă independentă de amplitudine la amplitudini mari şi temperaturi înalte.* Experienţa arată că există un tip de frecare internă, independentă de amplitudinea oscilaţiilor, care la temperaturi înalte ($> 200°C$) se supune legii :

$$Q^{-1} = A \exp\left(-\frac{U}{kT}\right), \tag{46}$$

deci creşte odată cu creşterea temperaturii. Referitor la mecanismul acestui tip de frecare internă s-au emis mai multe ipoteze :

— Prin mişcarea dislocaţiilor se crează defecte noi în reţeaua cristalină (trepte la intersecţia dislocaţiilor, vacanţe în urma mişcării treptelor).

— Dislocaţiile se mişcă în cîmpul de tensiuni interne al atomilor de impuritate. La temperaturi înalte activarea termică favorizează mişcarea dislocaţiilor şi frecarea internă creşte.

— Se formează dislocaţii noi prin surse Frank-Read, ele ne mai fiind ancorate şi dau naştere la o frecare internă de tipul histerezei.

§ 9. *Limitele granulelor*

Metalele sînt alcătuite dintr-un număr mare de cristale care se deosebesc între ele prin orientarea reţelei. Ele se numesc granule sau cristalite. Limita dintre granule prezintă o structură neregulată şi la mişcarea relativă a granulelor stratul limită are o comportare vîscoasă. Fenomenul a fost observat de T.S. Kê (1947) la aluminiu policristalin prin apariţia

unui maxim de frecare internă, care dispare la aluminiu monocristalin (fig. 23). Energia disipată este proporțională cu produsul dintre deplasarea relativă a granulelor vecine și efortul de forfecare corespunzător. La temperaturi scăzute această energie, deci frecarea internă, este mică, fiindcă deplasarea este mică, iar la temperaturi înalte este tot mică din cauza că efortul este mic. Un maxim se atinge pentru valori intermediare ale temperaturii.

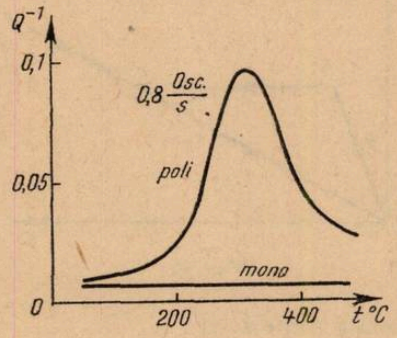


Fig. 23

Dependența acestei frecări interne de mărimea granulelor arată că ea este o funcție de expresia :

$$\nu \cdot D \cdot \exp \frac{H}{kT}$$

unde ν este frecvența, D dimensiunea lineară medie a granulelor și H energia de activare. Maxime de frecare internă datorită vîscozității limitelor de granule, care este de tipul relaxării, au fost puse în evidență la multe metale (Ni, Cu, Fe, Ti, Mo, Ag, W) și la aliaje.

§ 10. *Frecarea internă de origine magnetică*

În metalele feromagnetice apar pe lîngă cauzele amintite și altele, determinate de fenomene magnetice.

a) Una din ele se datorește fenomenului invers magnetostricțiunii, adică variației magnetizării unui corp feromagnetic sub influența modificării dimensiunilor sale.

Să presupunem că un corp feromagnetic prezintă o anumită magnetizare constantă, dar este supus la variații periodice ale dimensiunilor sale. Atunci magnetizarea lui variază în jurul valorii inițiale și în consecință se vor naște curenți de inducție macroscopici, care consumă prin degajare de căldură o parte din energia mecanică de oscilație, dînd naștere la o frecare internă. Ținînd seama de acest mecanism, se înțelege ușor că frecarea internă este de tipul relaxări și este independentă de amplitudine, depinzînd de frecvență.

b) Substanțele feromagnetice conțin domenii magnetice (Weiss) care în mod obișnuit au orientări arbitrare, dar se orientează sub influența unui cîmp magnetic exterior. Mecanismul acestei orientări constă în procese reversibile de rotație a vectorului de magnetizare sau deplasări rever-

sibile ale pereților Bloch. Modificarea orientării mai poate fi impusă însă și de cauze mecanice, adică de deformații. Pe durata oscilației unei probe reorientarea domeniilor dă naștere la variații locale ale cîmpului magnetic, deci la curenți de inducție microscopici, care conduc la o frecare internă prin dezvoltare de căldură. Această frecare internă depinde de frecvență, dar este independentă de amplitudine, fiind tot de tipul relaxării.

c) În fine, mai putem semnala încă o cauză a frecării interne de origine magnetică, care se explică prin histereză magnetică și dă naștere la frecări interne foarte mari. Dacă o probă este supusă unei tensiuni mecanice, în afara deformației elastice mai apare o deformație suplimentară, de origine feromagnetică, deoarece materialul cedează parțial solicitări impuse printr-o reorientare ireversibilă a domeniilor magnetice prin deplasarea pereților Bloch. La încetarea solicitării, deformația suplimentară nu dispare, ci dă naștere la o histereză responsabilă de frecarea internă, ce depinde de amplitudine, dar este independentă de frecvență.

BIBLIOGRAFIE

A. Cișman, B.F. Rothenstein, A. Policec, Fenomene fizice în metale feromagnetice solicitate, Editura Academiei Republicii Socialiste România, București, 1968.

J.D. Fast, Frottement intérieur des métaux, Métaux-Corrosion-Industries *36* (1961) 383, No. 435 și *36* (1961) 341, No. 436.

H. Franz, Mechanische Dämpfung infolge magnetischer Vorgänge, Zeitschrift für Metallkunde *53* (1962) 27.

N. Geru, Proprietățile metalelor și metode fizice de control, Editura didactică și pedagogică, București, 1967.

G. Löschner, Innere Reibung bei Metallen, Technik *4* (1956) 289.

W.P. Mason, Physical Acoustics and the Properties of Solids, Van Nostrand Co. New York, 1958.

F.R.N. Naborro, Theory of Crystal Dislocations, Oxford, Clarendon Press, 1967.

D.H. Niblett, J. Wilks, Dislocation Damping in Metals, Advances in Physics *9* (1960) 1.

A.S. Nowick, Internal Friction in Metals, Progress in Metal Physics *4* (1953) 1.

M.A. Quader, Internal Friction Due to Defects in Solids, Journal of Scientific and Industrial Research *24* (1965) 162.

B.F. Rothenstein, J. Hrianka, Frecarea internă, o mărime fizică utilă în metalurgie, Metalurgia construcția de mașini 1957, nr. 11, pag. 8, și 1958, nr. 2, pag. 109.

C. Sălceanu, Viscosité et frottement intérieur dans les fils métalliques, Comptes rendus Acad. Sc. Paris *241* (1955) 1554.

P. Schiller, Grundtatsachen des Dämpfungsverhaltens der Metalle, Zeitschrift für Metallkunde *53* (1962) 9.

A. Toth, A szilárd testek belsö súrlodása, Fizikai szemle *18* (1968) 332.

J. BaWilks, Dislocation Damping in Metals, itish Journal of Applied Physics *16* (1965) 587.

Cl. Zener, Élasticité et anélasticité des métaux, Dunod, Paris, 1955.

CONCEPȚIILE MODERNE DESPRE ACIZI ȘI BAZE REFLECTATE IN MANUALELE UNIVERSITARE ȘI DE LICEU *

Prof. univ. *GAVRIL NIAC*, Universitatea Craiova

1. Introducere

Progresul rapid al științei face ca volumul cunoștințelor să crească vertiginos impunînd noi teorii, concepții pentru sistematizarea și înțelegerea fenomenelor.

Acest progres are ca urmare schimbarea treptată a materiei predate la liceu. Primenirea materiei de liceu trebuie să țină seamă de cerințele

* Material prezentat la Consfătuirea cadrelor didactice organizată de S.S.F.C., la Craiova, aprilie 1972.

învățămîntului mediu, care are ca scop să formeze o cultură generală, în care chimia ocupă un loc important.

Chimia din învățămîntul mediu are următoarele sarcini:

1. Ajută la formarea unei concepții dialectice și materialiste despre lume.

2. Contribuie la înțelegerea aspectelor chimice ale vieții de toate zilele, ale principalelor evenimente industriale și științifice, cu care omul modern este pus în contact prin mijloacele de informare ale zilelor noastre.

3. Prin cele de mai sus, formează baza creșterii în continuare a nivelului cultural al cetățenilor și fundamentul solid al unei eventuale pregătiri de specialitate în învățămîntul superior.

În învățămîntul de cultură generală scopul disciplinei chimiei nu este acela de a-l face pe elev specialist în chimie.

Modernizarea materiei de liceu se face prin introducerea unor noțiuni și teorii, a unor fapte noi și cunoștințe, care înainte se predau la universitate. Prin aceasta însă crește volumul cunoștințelor predate la liceu și există pericolul încărcării exagerate a memoriei elevilor. Este deci necesar să se scoată sau să se comprime unele capitole.

Realizarea acestei transformări ascunde unele pericole și deschide calea unor greșeli.

a) Se poate reduce prea mult materialul faptic experimental, fundamentul solid al tuturor teoriilor.

b) Se elimină teorii ceva mai limitate, dar deosebit de clare și utile pentru formarea elevilor, în favoarea altora mai largi, dar mai dificil de înțeles.

c) De dragul condensării materiei se renunță la unele aspecte istorice, care sînt deosebit de importante pentru a arăta evoluția gîndirii științifice și în particular a teoriilor, pentru a demonstra prin perspectiva trecutului că soarta oricărei teorii este aceea de a fi dată la o parte de alta mai bună sau de a fi inclusă ca un caz particular în alta mai largă.

d) Se transferă un material de la universitate la liceu fără a se face adaptările necesare. De multe ori tratarea unor probleme la nivel universitar presupune cunoașterea lor în linii generale sau sub anumite aspecte, de la liceu. Transferarea modului de tratare din învățămîntul superior în cel liceal cu eliminarea a ceea ce se preda anterior la liceu trunchiază problema și o face greu de înțeles.

De aceste deficiențe nu sînt scutite pe alocuri nici manualele noastre de învățămînt mediu.

Un exemplu de problemă a cărei tratare la liceu poate fi simțitor îmbunătățită este capitolul acizi și baze, care va fi discutat pe scurt în cele ce urmează.

2. Scurt istoric al concepțiilor mai importante despre acizi și baze

Evoluția definițiilor acizilor și bazelor este redată în tabelul 1. (1—18).

Originea termenului „acid" este gustul (acru — acidus în latină) în timp ce termenul de „bază" este o generalizare datorată lui Roulle a celui de „alcalii" (al kaliun (arabă) = cenușă de vegetale) (9).

Termenii de acid și bază și-au început cariera modest pe baza unor criterii organoleptice. Evoluția lor a fost destul de sinuoasă. În cursul acestei evoluții în afară de datele din tabel, mai merită să se amintească de concepția lui Lavoisier despre acizi (19). El consideră că acizii se caracterizează prin prezența în molecula lor a oxigenului. Denumirea oxigenului (generator de acizi) își are originea tocmai în această concepție.

Dar în curînd s-au găsit acizi lipsiți de oxigen (s-a stabilit de exemplu că acidul clorhidric-muriatic — nu conține oxigen, clorul fiind un element).

Timp de vre-o 50 de ani (Liebig 1834 — Arrhenius 1880) a fost mulțumitoare definiția dată de Liebig (20).

Teoria lui Arrhenius dezvoltată de Ostwald a reușit să explice toate fenomenele acido — bazice din soluții apoase, punînd bazele științifice ale acidimetriei și alcalimetriei. Odată cu cercetarea altor medii de reacție această teorie și-a dezvăluit insuficiența. Cu toate acestea ea constituie punctul de plecare al tuturor teoriilor moderne, care generalizează într-o direcție sau alta ideile ei de bază.

Una din generalizări se datorește lui Cady și Elsey (3) și extinde prin analogie noțiunile de acid și bază din sistemele apoase asupra altor „solv-sisteme" care se comportă asemănător apei, adică a căror molecule disociază în ioni de semn opus. Această teorie poate cuprinde și solvenți lipsiți de hidrogen cum ar fi SO_2.

O altă generalizare a fost făcută de Brönsted și Lowry în sensul detașării proprietăților acide și bazice de solvent. Legînd calitatea de acid de capacitatea de a ceda proton, teoria explică reacțiile în fază gazoasă sau medii neionizabile. Pe de altă parte, față de teoria solvosistemelor, este tributară protonului, care primește o importanță exagerată. Nu poate explica reacțiile acido-bazice în solvenți ca SO_2 sau $(CH_3CO)_2O$ (anhidridă acetică) etc. Teoria lui Brönsted lărgește însă foarte mult sfera bazelor, în timp ce sfera acizilor rămîne practic cea cunoscută de la teoria clasică. (1, 4, 6).

Calitatea de seamă a teoriei lui Brönsted este faptul că subliniază relativitatea termenilor de acid și bază. „Acid" și „bază" nu înseamnă clase de substanțe, ci comportări ale substanțelor, legate de împrejurări.

Lewis leagă proprietățile acido-bazice de perechea de electroni. Această teorie lărgește foarte mult sfera noțiunii de acid, cuprinzînd printre alte combinații toți ionii centrali ai complecșilor. Sfera bazelor rămîne neschimbată. (2)

Teoria lui Lewis a fost dezvoltată în ultimul timp prin așa zisul principiu al acizilor și bazelor moi și dure a lui Pearson (21) precum și prin teoria funcțională a lui Gutmann (22), care leagă fenomenele acido-bazice de cele redox.

În sfîrșit teoria lui Ussanovici (1, 23) este cea mai generală dar tocmai din această cauză are unele neajunsuri. Cuprinzînd toate reacțiile posibile în categoria celor acido-bazice, suprimă automat diferențierea dintre ele, uneori necesară tocmai pentru a sublinia particularitățile lor.

Neutralizarea se poate introduce clar și intuitiv tocmai cu teoria clasică; ea nu apare atît de limpede în teoria lui Brönsted și Ussanovici; ea apare clar în teoria lui Lewis.

Avînd în vedere că pe deoparte cele mai multe reacții analitice se petrec în soluții apoase, și tot așa și cele biologice, importanța acordată soluțiilor apoase trebuie să fie maximă la liceu. Pe de altă parte pentru aceste soluții satisface perfect teoria clasică a acizilor. Nu încape îndoială că aceste motive sînt suficiente pentru a nu se sări peste teoria clasică la liceu.

3. Tratarea acizilor și bazelor în cărți de specialitate, manuale universitare și de liceu.

Tabelul 2 servește la compararea conținutului unor cărți din țară și străinătate în ce privește tratarea acizilor și bazelor.

Se observă că în general manualele de specialitate și universitare acordă puțină importanță concepțiilor vechi, dar teoria clasică este și în acestea amintită, dacă nu chiar bine reprezentată. Merită subliniată prezentarea succintă, clară și cuprinzătoare din „Titrarea în mediu neapos" de A.P. Kreșkov, N.N. Bicova și N.A. Kazarian (1). De asemenea se găsește o prezentare istorică foarte frumoasă în C.D. Nenițescu „Chimie generală" (9).

Accentul principal în manualele universitare cade pe teoriile moderne (Cady-Elsey, Brönsted, Lewis).

Manualele noastre de liceu și de învățămînt general omit însă să pomenească de această importantă teorie clasică (13—15). Se insistă cam mult pe concepția veche și se sare apoi direct la teoria protolitică. Un singur manual (M. Sava, C. Albu, E. Ionescu, M. Alioaie, chimie de clasa IX-a școlii generale) (14) amintește de definiția Lewis (bineînțeles fără a pomeni vreun nume) ca o extindere a teoriei acizilor.

În general din manualele amintite elevul își poate forma cu greu noțiunea de „neutralizare" din moment ce se decretează de la bun început că dintr-un acid și o bază rezultă un alt acid și o altă bază. Or noțiunea de „neutralizare" și cea de „neutralitate" sînt deosebit de importante atît din punct de vedere practic, cît și analitic și biologic.

Tot așa nu se introduce noțiunea de pH (ca exponentul cu semn schimbat al lui 10 din valoarea concentrației ionilor de hidrogen) deși aceasta permite exprimarea simplă a acidității sau a bazicității unei soluții.

Manualele străine (12, 16—18), printre care unele foarte recente, nu dau deloc teoriile noi, ci se mulțumesc cu cea clasică, discutată pe larg (inclusiv titrarea acido-bazică și pH-ul). Ele greșesc prin absolutizarea teoriei clasice, dar sînt mai accesibile elevilor.

În ce privește scrierea ionului de hidrogen, și cărțile de specialitate se mulțumesc de cele mai multe ori să scrie H^+ în afară de cadrul strict al teoriei lui Brönsted cînd se scrie H_3O^+. Manualul nostru de liceu anul I accentuează însă că forma de existență a protonului în soluție apoasă este ionul de hidroniu H_3O^+ și îl scrie consecvent astfel.

4. Structura ionului de hidrogen în soluții apoase. (24)

Teoria protolitică a lui Brönsted a subliniat rolul solventului în procesele acido-bazice. Ea introduce pe scară largă ionul de hidroniu ca formă de existență a protonului în soluții apoase. Argumentele care s-au invocat în favoarea existenței acestui ion nu se referă însă la soluții apoase, ci la rețele cristaline. Într-adevăr încă în 1924 Volmer reușește să dovedească existența ionului H_3O^+ în rețeaua monohidratului de acid percloric $HClO_4 \cdot H_2O$. Aproape toți acizii au în rețelele cristaline ale monohidraților ioni de hidroniu. Dovada s-a adus prin punerea în evidență cu ajutorul röntgenografiei pe cristal rotitor a izomorfismului cu sărurile corespunzătoare de amoniu. Dar nu toți hidrații prezintă acest tablou. Unii acizi slabi au molecule de apă și în rețea. Astfel de exemplu dihidratul acidului oxalic $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$.

Un alt argument serios este căldura de hidratare a protonului, care se cifrează la — 183 kcal/mol pentru fixarea primei molecule de apă și la — 282 kcal/mol pentru hidratarea totală. Această căldură mare de hidratare exclude posibilitatea ca protonul să se afle nehidratat în soluție.

Cercetările mai noi au scos în evidență o serie de fapte care infirmă existența în soluție a ionului H_3O^+. Iată unele din ele :*

Numeroase experienţe arată că şi alte forme hidratate au o foarte mare stabilitate. În special se relevă stabilitatea foarte mare a tetrahidratului.

1. Analizînd diagrama de fază (temperatură de topire-compoziţie) pentru amestecuri de SO_3 şi H_2O se observă într-adevăr un maxim la raportul 1 :2, deci corespunzător formulei $HSO_4^- \cdot H_3O^+$, dar mai sînt şi altele, printre care se distinge maximul pentru raportul 1 :5, deci pentru $H_2SO_4 \cdot 4H_2O$ sau $HSO_4^- \cdot H_9O_4^+$.

2. Există şi alte reţele ale acizilor hidrataţi în care s-a putut pune în evidenţă ionul $H_9O_4^+$ (de ex. $Br^+ . H_9O_4^+$).

3. Extracţii cu solvenţi (dimetil-cetonă, tributil-fosfat) ai acizilor tari din apă arată că un proton este însoţit întotdeauna de 4 molecule de apă (şi nu de una singură).

4. La descărcări electrice în vapori de apă, printre produşii rezultaţi se află ionul $H_9O_4^+$. Se găsesc condiţii în care această specie să domine net.

5. În spectrometrele de masă cu sursă de ionizare prin efect de cîmp se observă de asemenea concentraţii mult mai mari de $H_9O_4^+$ decît de H_3O^+ sau alţi hidraţi, deşi se găsesc şi mici concentraţii de $H_7O_3^+$ $H_5O_2^+$ şi $H_{11}O_5^+$. Figura 1 arată repartiţia ionilor decelaţi în descărcări în gaze, la două distanţe diferite de catod. Concentraţii apreciabile de H_3O^+ se observă numai la distanţe mici de catod, unde echilibrele sînt puternic afectate. La distanţe mai mari predomină forma stabilă în exces de vapori $H_9O_4^+$.

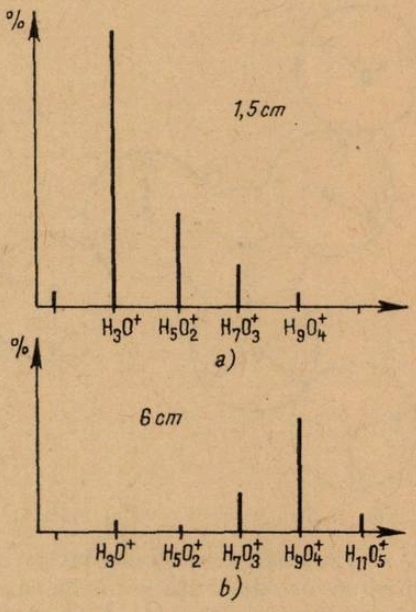


Fig. 1. Spectrul de masă al ionilor pozitivi din descărcarea electrică în vapori de apă
a) la distanţă de 1,5 cm. de catod
b) la distanţă de 6 cm. de catod.

Dar existenţa ionilor $H_9O_4^+$ în vapori ionizaţi, în reţele cristaline şi în solvenţi neapoşi încă nu înseamnă că este specia dominantă şi în soluţii. Înseamnă însă că din moment ce în condiţii în care excesul de apă este redus, ionul H_3O^+ nu este specia unică hidratată, în soluţii unde este exces de apă, şansele lui de existenţă devin neglijabile.

Există însă şi cîteva dovezi interesante, care arată că în soluţii apoase s-ar părea că ionul $H_9O_4^+$ are cea mai mare şansă de a fi întîlnit, dintre care amintim una :

6. Din studii de extincţie în i.r. reiese că benzile de absorbţie caracteristice apei se deplasează datorită întăririi legăturii de hidrogen la ionul $H_9O_4^+$. Măsurători cantitative ale extincţiei, permit calculul numărului mediu de hidratare h, după ecuaţia coeficientului de extincţie mediu ε :

$$\varepsilon = hq\varepsilon_h + (1 - hq)\varepsilon_l$$

unde ε_h = coeficientul de extincţie al apei legate în sfera de hidratare, ε_l = coeficientul de extincţie al apei libere, q=raportul molar al ionilor de hidrogen către numărul total de molecule de apă. Rezultatele confirmă că specia dominantă este $H_9O_4^+$.

Există și alte argumente care infirmă existența ionilor H_3O^+ în soluție și fac probabilă specia $H_9O_4^+$ ca formă de existență a protonilor în soluție.

Căldurile de hidratare sînt interesante și permit unele reflecții. Admițînd că afinitatea formării ionului de hidroniu din proton și apă este practic egală cu căldura de hidratare, punînd $\Delta H = -RT \ln K$, se poate calcula constanta de echilibru și de aici concentrația protonilor liberi. Se găsește $K = 10^{130}$, și $[{}_{+1}^{1}p] = 10^{-132}$ (în soluții 0,5 normale de acid) ceea ce este cu totul neglijabil.

Dar dacă se admite ca specie dominantă $H_9O_4^+$ atunci următoarele trei molecule de apă se leagă cu $100/3 = 33$ Kcal/mol fiecare. Această căldură este de aproape 5 ori mai mare decît energia legăturii de hidrogen (7 kcal) și intră în rîndul legăturilor chimice.

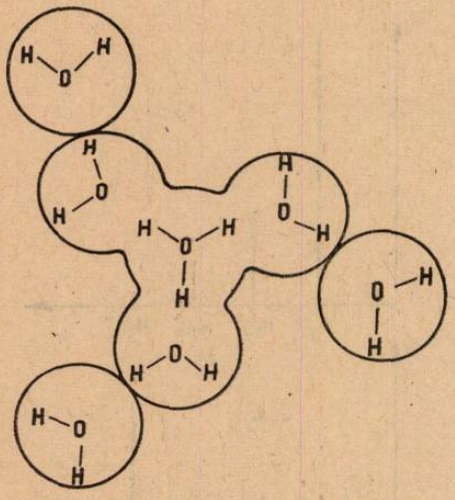


Fig. 2. Structura protonului hidratat.

Făcînd calculul similar cu cel de sus, pentru a vedea care este concentrația ionilor H_3O^+ în echilibru cu $H_9O_4^+$, conform ecuației :

$$H_3O^+ + 3H_2O \rightleftarrows H_9O_4^+$$

$$\Delta H = -99 \text{ kcal}$$

se găsește : $K = 10^{72}$ și într-o soluție normală de acid concentrația H_3O^+ este $[H_3O^+] = 10^{-74}$

Înseamnă că practic ionii H_3O^+ nu există în soluție. Pentru a avea o idee ce înseamnă puteri negative atît de mari, se poate calcula în ce volum de soluție de acid normal se află un ion H_3O^+ (în echilibru cu $H_9O_4^+$). Rezultă un cub cu latura de 10^{14} km., deci un cub cu latura cît de două ori distanța pînă la cea mai apropiată stea fixă (α — Centauri, la 5 ani lumină). Este evident că nu e bine să abuzăm nici cu scrierea H_3O^+, decît dacă facem precizia cuvenită că astfel simbolizăm ionul de hidrogen hidratat. Dar tot așa de bine se poate scrie H_{aq}^+ sau simplu H^+, subînțelegînd ionul hidratat.

Structura protonului hidratat este după datele de pînă acum redată în figura 2. În prima sferă de hidratare se află deci o moleculă de apă dînd ionul hidroniu, într-a doua, foarte strîns legate, se află alte trei molecule de apă, iar într-a treia sferă de hidratare legătura se face prin punți obișnuite de hidrogen.

Tot o structură similară are și ionul HO^-, adică $H_7O_4^-$ și chiar și electronul hidratat se întinde cam tot peste patru molecule de apă.

5. Concluzii

Din cele de mai sus se pot trage cîteva concluzii :

1. Nu este indicată omiterea teoriei clasice a acizilor și bazelor. Aceasta trebuie să aibă la liceu ponderea cea mai mare.
2. Este bine să nu se renunțe la o scurtă privire istorică asupra problemei.
3. Teorile moderne, cum ar fi cea lui Brönsted, a lui Cady și Elsey, a lui Lewis și Ussanorovici, pot fi amintite pe scurt pentru a scoate

Acizi şi baze

CRITERIUL (TEORIA)		ACIZII	BAZELE
CONCEPŢIA VECHE	Criteriul organoleptic din vechime	— au gust acru — (descompun $CaCO_3$ cu degajare de gaz)	— au gust leşietic — dau o senzaţie grasă la pipăit
	Criteriul comportării chimice	— descompun $CaCO_3$ cu degajare de gaz (din vechime) — înroşesc turnesolul (Boyle 1663)	— înălbăstresc turnesolul (Boyle 1663)
		dau săruri cu bazele (Rouelle 1774)	— dau săruri cu acizii (Rouelle 1774)
		— au H înlocuibil cu metale (Leibig 1838)	— au OH în moleculă (Liebig 1838)
Teoria clasică Arrhenius-Ostwald (1880)		— în soluţie pun în libertate ionii H^+ Exemple HCl, CH_3COOH	— pun în libertate ionii OH^- Exemple : NaOH,
Teoria protolitică-Lowry-Brönsted (1923)		— cedează uşor protoni Exemple : HCl, CH_3COOH, H_3O^+, H_2O,	— Acceptă uşor protoni Exemple : OH^-, NH_3Cl^-, SO_4^{2-}, H_2O
Teoria solvolitică Cady-Elsey (1928)		— eliberează cation comun cu solventul	— eliberează anion comun cu solventul
Teoria lui Lewis (electronică) Lewis (1938)		— acceptă perechi de electroni Exemple : H^+, $AlCl_3$, Fe^{3+}	— au perechi de electroni neparticipanţi Exemple : ca la Brönsted
Teoria lui Ussanovici (1939)		—pun în libertate particule pozitive (inclusiv protoni) — acceptă particule negative (inclusiv electroni)	— acceptă particule pozitive (inclusiv protoni) — pun în libertate particule negative (inclusiv electroni)

Tabel nr. 2

Tratarea acizilor şi bazelor în unele manuale universitare şi şcolare

Autorul şi manualul	Teoria (concepţia)						Modul de scriere:		
	veche	clasică	Cady-Elsey	Lowry Brönsted	Lewis	Ussanovici	H^+	H_3O^+	
1. A. P. Kreşcov, L. N. Bicova, N. A. Kazarian, Titrarea în mediu neapos, E. T. p. 10 u.	×	×	×××	×××	××	××	××	×	1
2. C. Luca, pH-ul şi aplicaţiile lui. E.T. p. 20—22 1964	—	××	—	×	××	—	××	×	2
3. C. Liteanu, Chimie analitică cantitativă, Volumetrie, ed. V-a, E.D.P. p. 69 u. 1969	—	—	××××	—	—	××	××	×	3
4. G. Niac. şi E. Schönberger, Chimie fizică vol. 3 E.T. p. 62 u. 1970	—	—	—	×××	×	—	—	××	4
5. Erdey-Gruz Tibor, Schay Géza, Chimie fizică teoretică; vol. 2. p. 786 u. E.T. 1958	—	—	—	×××	×	×	××	××	5
6. Erdey-Gruz Tibor, Bazele chimiei fizice, M.K. (l. magh.) p. 644 u. 1963	—	××	—	××	—	—	××	×	6
7. V. A. Chireev, Chimie fizică, E. T. p. 288 u. 1962	—	×××	—	—	—	—	××	—	7
8. G. Niac, Chimie fizică, E.D.P., p. 371 u. şi 384 u. 1966	—	×	—	×××	×	—	×	××	8
9. C. D. Neniţescu, Chimie generală, ed. II-a, E. T., p. 272 u. 1963	×××	××	—	×××	—	—	××	××	9
10. E. Beral şi M. Zapan, Chimie anorganică, ed. III-a E.T. p. 278 u. 1968	—	××	—	××	×	—	×	×××	10
11. C. Gh. Macarovici şi D. Petrescu, Chimie generlaă E.D.P. p. 108 u. 1968	×	×××	—	×	×	××	×××	—	11
12. H. Wahl, Chimie generală aplicată, Masson, Paris, (l. franceză) p. 280, 287—92 1968	—	×××	—	××	×	—	××	×	12
13. C. D. Neniţescu, T. V. Constantinescu, Chimie, manual pentru anul I liceu p. 128 u. 1971	××	—	—	×××	—	—	—	×××	13
14. M. Sava, C. Albu, E. Ionescu, M. Alioaie, Chimie, manual pentru clasa IX-a a şcolii gen. p, 32 u. 1969	×	—	—	××	×	—	×	×	14
15. C. Rabega şi A. Marinescu, Chimie, manual pentru clasa VIII-a, p. 17—211971	×××	—	—	—	—	—	—	—	15
16. * * * Chimia (anul II de liceu) T.K. (l. maghiară) p. 50—55 1963	—	×××	—	—	—	—	×××	—	16
17. R. Bourdon, C. Rourquard, Chimie, Teme de bacalaureat, Delgrave, Paris, p. 89 u. 1970	—	×××	—	—	—	—	×××	—	17
18. A. Malevergne, J. Malevergne, Chimie, 2-e C et T, Dunod, Paris, p.92—99, 1967	—	×××	—	—	—	—	×××	—	18

în evidență evoluția ideilor. Dintre teoriile moderne o atenție mărită o merită teoria lui Lewis.

4. Trebuie accentuată starea hidratată a protonului fără a abuza de ionul de hidroniu. Scrierea se poate face în limitele teoriei clasice, subînțelegînd că H^+ înseamnă protonul hidratat, atunci cînd e vorba de soluții.

Dorința de a introduce lucruri moderne în materia de liceu este principala chezășie a progresului, dar modernizarea este o armă cu două tăișuri, de aceea este necesar să fie mînuită cu pricepere de profesionist. De profesionist nu numai în chimie, dar mai ales în pedagogie și metodică.

BIBLIOGRAFIE

1—18 vezi tabelul 2.

19. *I.G. Dorfman, Antoine Laurent Lavoisier*, Ed. Științifică, București, 1967, p. 138—9.
20. *M. Petrovan* și *M. Herșcovici*, Istoria Chimiei, E.D.P., București, 1967, p. 62.
21. *G. Pearson*, J. Chem. Ed, *45*, 581 și 643 (1968); *M. Voicu*, Studii și Cercetări de Chimie, *18*, 457 (1970).
22. *V. Gutmann*, Monatshefte f. Chimie. *102*, 1 (1971).
23. *M. Ussanovici*, Wissenschaft u. Fortschritt, *1964*, 499.
24. *W. Schmidt*, Wissenschaft u. Fortschritt, *1967*, 260.
25. *I. Cădariu*, Chimie fizică, vol. II,. E.D.P., București, 1971 p. 312; (8) p. 346.

ROLUL PROBLEMELOR DE FIZICĂ ÎN INSTRUCȚIA ȘI EDUCAȚIA ELEVILOR

I. ARDELEAN[1]), *N. TARAU*[2]) și *M. ZBARCEA*[3])

Instrucția și educația elevilor în școală, corespunzătoare cerințelor actuale de dezvoltare a societății socialiste din țara noastră, constituie sarcina de bază a învățămîntului și trebuie să se realizeze avînd în vedere tendința de ridicare continuă a nivelului științifico-teoretic și aplicativ al cunoștințelor pe care este necesar să le posede absolvenții liceelor noastre. În acest sens, trebuie să punem accent tot mai mare pe pregătirea lecțiilor la nivelul științific actual și pe utilizarea metodelor noi în transmiterea cunoștințelor corespunzătoare scopului urmărit.

Avînd în vedere importanța cunoașterii fenomenelor și legilor fizicii în toate domeniile de activitate, care este deja recunoscută, în procesul instructiv-educativ din școală, trebuie să i se acorde fizicii o atenție cuvenită. Aceasta cu atît mai mult, dacă avem în vedere dezvoltarea rapidă a cercetărilor fundamentale și aplicative legate de cerințele actuale ale tehnicii moderne nelipsită azi în industrie.

În procesul complex de cunoaștere a fenomenelor și legilor fizicii, precum și în cîștigarea deprinderilor necesare pentru aplicarea acestor cunoștințe în practică, problemele de fizică își au rolul lor și nu pot fi înlocuite sau eliminate. Trebuie avut în vedere că rezolvarea problemelor de fizică are un rol instructiv-educativ în formarea elevilor, numai atunci cînd numărul și tematica lor sînt astfel alese încît să corespundă nivelului

[1] Facultatea de Fizică, Universitatea din Cluj,
[2] Liceul nr. 1 Jibou
[3] Facultatea de Istorie-Filozofie, Universitatea din Cluj.

de cunoştinţe şi aspiraţiilor elevilor. De aici rezultă clar importanţa pe care trebuie s-o aibă îmbinarea metodicii predării fizicii şi a metodicii rezolvării problemelor de fizică, care azi trebuie să se afle la baza pregătirii şi coordonării activităţii profesorului de fizică. De priceperea îmbinării lor va depinde succesul profesorului în instrucţia şi educaţia elevilor, în vederea dezvoltării lor multilaterale. Aceasta fiindcă instrucţia şcolară îi înarmează pe elevi cu cunoştinţe teoretice noi şi le formează priceperi şi deprinderi corespunzătoare. Prin noţiunile învăţate în şcoală, elevii îşi formează un anumit mod de gîndire şi de analizare a fenomenelor care duce la dezvoltarea forţelor lor intelectuale, astfel ca la un moment dat ei să devină capabili să rezolve probleme noi şi complexe.

Utilizarea diferitelor tipuri de probleme de fizică în instrucţia şi educaţia elevilor este determinată de scopul urmărit de către profesor. În primul rînd, ele joacă un rol important în transmiterea cunoştinţelor noi, legate de diferite noţiuni de fizică, care au o influenţă pozitivă asupra procesului de formare a priceperilor şi deprinderilor. Pentru transmiterea cunoştinţelor noi, de obicei profesorul utilizează metode ca : expunerea continuă şi sistematică, conversaţia, demonstraţia, (a experienţelor, aparatelor, materialului din sceheme, etc.,) observarea lucrărilor de laborator şi lucrărilor practice, exerciţii etc. Dar, indiferent de metoda utilizată se constată că elevii asimilează mai bine cunoştinţele predate atunci cînd legat de noţiunile studiate se crează o „situaţie problemă". De cele mai multe ori „situaţia problemă" se crează prin enunţarea unei probleme în decursul rezolvării căreia elevii practic „redescoperă" ei înşişi fenomenul sau legea studiată. Deci, aici am mijlocit prin rezolvarea unor probleme de fizică învăţarea noţiunilor noi — instrucţia elevilor. În acest caz, pe baza cunoştinţelor vechi pe care le posedă elevii în decursul rezolvării problemelor noi, putem supune analizei noţiunile studiate, formulînd apoi altele noi, legate de ele. Pentru crearea „situaţiei problemă" se pot utiliza probleme calitative sau cantitative, teoretice sau experimentale etc. fapt care depinde de noţiunile pe care dorim să le transmitem elevilor. În principiu rezolvarea unor astfel de probleme se bazează pe un raţionament logic, calcule matematice, lucrări de laborator, etc. Trebuie să avem în vedere, însă, ca înainte de a da elevilor să rezolve probleme experimentale, să le dăm noţiunile referitoare la experimentul fizic ca metodă de studiu a naturii, care are la bază pregătirea teoretică temeinică, măsurătorile experimentale, studiile matematice legate de obţinerea dependenţelor funcţionale între mărimile fizice măsurate şi interpretarea fizică a rezultatelor.

Pe lîngă importanţa mare pe care o are rezolvarea problemelor de fizică în însuşirea cunoştinţelor teoretice noi, care au o influenţă mare asupra procesului de formare a priceperilor şi deprinderilor la elevi, problemele de fizică atît cele teoretice cît şi cele experimentale joacă un rol deosebit în pregătirea tehnică şi politehnică, adică în însăşi formarea deprinderilor şi priceperilor la elevi. Acest tip de probleme de fizică reprezintă mijlocul cel mai direct şi mai accesibil de a lega imediat teoria cu practica şi învăţătura cu viaţa. În general problemele cu conţinut tehnic, pentru a-şi îndeplini rostul, este bine să satisfacă următoarele condiţii :

1. Să cuprindă numai fenomenele şi legile fizicii învăţate de către elevi.

2. Conţinutul problemelor să fie formulat pe baza datelor reale referitoare la diferite dispozitive, aparate, maşini, etc., cerîndu-se răs-

puns la asemenea întrebări, care să se întîlnească în practică. Atît dispozitivul, aparatul, mașina, etc., cît și fenomenele și legile fizicii pe care se bazează funcționarea lor trebuie să fie bine cunoscute de către elevi.

3. Forma și conținutul problemelor să se apropie de cerințele reale, în care caz datele necesare pentru rezolvarea lor să fie măsurate experimental, să se citească de pe scheme de lucru reale sau chiar să fie căutate în literatura bibliografică.

Problemele care leagă instrucția cu viața, trebuie să se bazeze pe noțiunile de fizică cunoscute, făcînd ca elevii să vadă cum se aplică nemijlocit aceste noțiuni în practică, să lege instrucția cu cercetarea și producția. Problemele de acest gen sînt utile și dacă avem în vedere că pentru elevi dificultatea nu constă în a opera cu noțiuni sau priceperi abstracte, ci în posibilitatea transpunerii datelor concrete în planul noțiunilor abstracte. Primind în mînă un dispozitiv sau aparat, pentru elevi este greu să treacă de la concret la abstract și invers, să desprindă relațiile dintre ele printr-un efort de analizare și abstractizare. Se constată că elevii aplică mult mai ușor în practică acele noțiuni care se introduc pe baza examinării unor fenomene întîlnite în tehnică și viață.

Aplicarea sistematică a cunoștințelor în rezolvarea problemelor de fizică dezvoltă la elevi interesul pentru muncă. Astfel elevii se conving singuri că de fapt cunoștințele lor nu sînt necesare doar pentru a le expune în fața profesorului, ci ele sînt necesare pentru viață, pentru activitatea practică. În felul acesta rezolvarea problemelor legate de practică și viață clarifică pentru elevi și sensul muncii de însușire a cunoștințelor, dezvoltînd astfel interesul lor de a cunoaște.

Cunoștințele teoretice referitoare la diferite noțiuni de fizică pot fi aplicate de către elevi în practică prin rezolvarea unor probleme de fizică, legătura realizîndu-se prin conținutul problemelor, dar și prin însăși activitățile practice concrete pe care elevii le realizează în laborator, atelier-școală, excursii etc.

Prin rezolvarea problemelor de fizică legate de tehnică elevii își formează o serie de deprinderi practice care apoi pot fi utilizate pentru analiza altor fenomene fizice întîlnite în natură, viață și tehnică. Aceste deprinderi mai pot fi utilizate în efectuarea unor dispozitive, aparate, scheme, reprezentări grafice, calcule matematice și în folosirea literaturii bibliografice. În acest sens sînt foarte utile problemele de fizică în rezolvarea cărora se utilizează experiența de muncă și de viață a elevilor, observațiile făcute în timpul lucrului în ateliere-școală, excursii și alte împrejurări.

Utilizînd problemele de fizică putem pune elevii în legătură cu apariția ideilor și vederilor noi, progresiste, legate de descoperirile din țară și străinătate, atrăgînd atenția în același timp asupra nivelului tehnicii și cercetării naționale și a rolului lor în construcția societății socialiste multilateral dezvoltate.

Acțiunea educativă a problemelor de fizică constă în faptul că ele reprezintă un mijloc real de a trezi la elevi dragostea față de muncă, perseverența, voința. Rezolvarea problemelor de fizică nu este o treabă ușoară. Ea necesită un efort deosebit care poate duce după sine succesul de creație a unui lucru nou, la dragostea față de studiul fizicii, dar și la dezamăgiri, neîncredere în forțele proprii. De aici rezultă că rolul profesorului constă tocmai în a îmbina metodicile predării fizicii și rezolvării

problemelor de fizică, în a clarifica noţiunile necunoscute de către elevi, astfel încît să elimine complet greutăţile întîmpinate de ei. În acest sens profesorul trebuie să ştie că problemele de fizică, în general, atrag elevii atît prin conţinutul lor cît şi prin „frumuseţea" metodelor utilizate pentru rezolvarea lor. Rezolvarea problemelor, de fapt, reprezintă un indicator sensibil după care profesorul poate urmări încontinuu succesele şi dorinţele elevilor, şi eficacitatea muncii sale instructiv-educative.

Avînd în vedere rolul fizicii şi prin aceasta şi al problemelor de fizică, se dă o mare importanţă olimpiadelor de fizică la toate nivelele, rezolvării de probleme din Revista de Fizică şi Chimie, la care sînt antrenaţi mulţi elevi dornici să pătrundă în tainele acestei ştiinţe.

REALIZAREA EDUCAŢIEI PATRIOTICE A ELEVILOR DE CĂTRE PROFESORUL DE CHIMIE.

Prof. emerit *CORNELIA GHEORGHIU*, Bucureşti.

Dezvoltarea ţării noastre, conform directivelor Congresului al X-lea al P.C.R., nu poate avea loc fără creşterea unor generaţii pe măsura sarcinilor cu care-i confruntă programul construirii societăţii socialiste multilateral dezvoltate.

Atributul „nou", acordat oamenilor chemaţi la construirea societăţii socialiste multilateral dezvoltate are un conţinut bogat. Prin omul nou înţelegem mai întîi copilul sîrguincios, animat de dorinţa acumulării cunoştinţelor teoretice şi practice pentru a fi util societăţii, apoi, pe adolescentul înarmat cu sănătoasa concepţie materialist dialectică despre lume şi viaţă, iar mai tîrziu pe cetăţeanul posesor al unei înalte ţinute etice şi patriotice.

Cetăţeanul acesta, care în ultimă instanţă este inima construcţiei socialiste, primeşte această orientare în şcoală, iar cadrele didactice răspund de pregătirea lui. Misiunea ce revine deci întregului corp profesoral corespunde aşa cum precizează tov. N. Ceauşescu unei „sarcini de prim ordin, permanentă, de ea depinzînd viitorul societăţii, al naţiunii noastre socialiste" (citat din expunere la Consfătuirea de lucru a activului de partid din domeniul ideologiei şi al activităţii politice şi cultural educative din 9 iulie 1971.)

Practica a confirmat că în educarea tinerei generaţii de mare importanţă este sădirea şi cultivarea sentimentelor patriotice în sufletele elevilor.

Tov. secretar general N. Ceauşescu în expunerea din 9 iulie 1971, precizează: „Nu trebuie să scăpăm nici un moment din vedere necesitatea educării tineretului nostru, în spiritul dragostei faţă de patrie, al hotărîrii de a fi gata în orice moment să apere cuceririle revoluţionare independenţa şi suveranitatea patriei noastre socialiste".

Profesorul de chimie conştient de sarcinile ce-i revin îşi propune să realizeze o sănătoasă educaţie patriotică a elevilor, astfel încît ei să devină pe de o parte păstrătorii patrimoniului de aur al ştiinţei şi tehnicii progresiste, iar pe de altă parte continuatorii şi animatorii mersului înainte al acestora.

Dacă importanța acestei educații stă pe plan de egalitate cu pregătirea profesională, în schimb mijloacele de realizare ale acesteia sînt mult mai pretențioase și trebuie alese cu grijă.

În educarea patriotică a tinerei generații încredințate, profesorul de chimie trebuie să fie călăuzit de anumite principii pe care să le respecte în întreaga lui activitate. Astfel în primul rînd educația patriotică trebuie să fie realizată progresiv cu răbdare și perseverență întrucît ea nu are un caracter spontan. Elevii trebuie să treacă succesiv de la aprecierea realizărilor geniului progresist românesc din trecut, la îndrăgirea cuceririlor științifice actuale și la mîndria generată de impresionanta dezvoltare a țării noastre. Numai pe această cale vom cultiva în rîndul elevilor sentimente patriotice robuste, durabile, fundamentate pe fapte și pe rațiune.

În al doilea rînd, în acțiunea de educare patriotică a elevilor, de o deosebită importanță este forma și noutatea prezentării elementelor menite să contribuie la atingerea acestui scop.

Prin îmbinarea expunerilor sau lecturilor, cu vizitele în întreprinderi sau a comunicărilor științifice cu probleme din construcția socialistă, profesorul de chimie va reuși să dea un conținut bogat obiectivelor de ordin educativ-patriotic.

Deosebit de importante sînt și metodele folosite de profesorul de chimie pentru realizarea educației patriotice a elevilor. De aceea în continuare voi prezenta cîteva aspecte legate de modul în care am înțeles să asigur o sănătoasă educație patriotică a elevilor.

Prezentarea biografiilor și a realizărilor oamenilor de știință progresiști, din trecutul țării noastre, a condițiilor în care au trăit, gîndit și creat, a tenacității și a spiritului lor de sacrificiu, dovedite în lupta cu indiferența claselor conducătoare, au constituit sisteme simple dar eficace, pentru atingerea scopului mai sus precizat.

Astfel, la anul II, numele lui Nicolae Teclu, l-am evocat ca un exemplu de dîrzenie și strădanie a unui om de știință român, dăruit cu toate forțele cu toată capacitatea și stăruința muncii, progresului științei în general și al chimiei în special. Studiul flacării, becul de gaz „Teclu" folosit azi în toate laboratoarele, ozonizatorul Teclu și cele 52 de lucrări originale referitoare la analiza gazelor, la ardere și la producția industrială a hîrtiei, constituie meritele pentru care Nicolae Teclu a fost ales membru al Academiei Române.

La anul III prezentînd starea naturală a metalelor am evocat figura lui Petre Poni, unul din eminenții precursori ai chimiei românești. Asupra lucrărilor sale am revenit, la aceeași clasă, la tema „Petrolul" arătînd importanța cercetărilor și concluziilor sale, asupra compoziției petrolului românesc. Profesorul C. Istrati preciza că „Studiul petrolului l-a înscris pe P. Poni, pe veci în istoria științei românești, iar prof. Hurmuzescu aprecia că lucrările lui P. Poni au adus faima țării noastre, făcînd astfel ca și România să ia parte cu succes la progresul științei".

Alături de personalitatea lui P. Poni am prezentat viața și lucrările Dr. Constantin Istrati cu ocazia stabilirii nomenclaturii chimice în chimia organică. Prin manualele editate care s-au bucurat de o înaltă apreciere atît în țară cît și în străinătate, prin valoroasele lucrări asupra derivaților halogenați și prin elaborarea a noi principii în clasificarea și nomenclatura compușilor organici, prezentate în cadrul Congresului de la Geneva, Dr. C. Istrati a reușit să creeze o mișcare științifică națională

și a făcut cunoscute peste hotare primele succese ale științei chimiei românești.

Părăsind pe precursorii științei și tehnicii românești cu trecutul lor de glorie și eroism, în luptă cu prejudecățile și indiferența cercurilor conducătoare, mi-am purtat elevii prin actualitatea prezentului, în care regimul socialist a asigurat oricărui om al muncii condiții deosebite de creație cu rezultate ce fac mîndria sistemului socialist. Prin prezentarea realizărilor industriei românești am ilustrat impetuoasa dezvoltare a republicii noastre socialiste care, eliberată de sub jugul exploatării și-a luat destinele în propriile-i mîini.

La lecțiile de chimie elevii au fost informați că P.C.R. acordă o deosebită atenție industriei chimice datorită importanței pe care o are aceasta, în ansamblul economiei naționale. Industria chimică este în măsură să valorifice la un înalt nivel bogățiile subsolului, precum și produsele solului. Caracteristica esențială a industriei chimice este valorificarea complexă a acestor bogății naturale, transformarea lor într-un număr foarte mare de produse necesare celorlalte sectoare ale economiei, cît și în produse utile vieții omului. Industria chimică se situează astfel, în continuare, printre sectoarele cu cele mai înalte ritmuri de creștere, ei mărindu-se în actualul cincinal de aproape 2,3 ori.

La anul III s-a arătat elevilor că industriile : petro-chimică, a firelor și fibrelor sintetice și a maselor plastice se vor extinde în mod special, acestea fiind caracterizate printr-o înaltă eficiență economică.

Pornind de la definirea sferei de activitate a petrochimiei care urmărește chimizarea hidrocarburilor obținute prin rafinarea petrolului, am prezentat marile combinate petrochimice din țară, oprindu-mă asupra gigantului combinat de la Pitești. Aici 5 fabrici concură la elaborarea a peste 12 produse petrochimice, toate pornind de la aceeași materie primă, petrolul. Valoarea producției realizată în 24 ore la Combinatul petrochimic Pitești este de 5 milioane lei.

Chimia minerală, cu numeroasele sale produse anorganice, a constituit de asemenea un domeniu vast în care progresul industriei chimice românești a avut menirea să contribuie la educarea patriotică a elevilor.

Astfel, la anul II la temele „Sărurile acidului azotic" și „Sărurile acidului fosforic" s-a comunicat elevilor că agricultura va primi în actualul cincinal de 2,8 mai multe îngrășăminte chimice, în substanță activă, decît în perioada 1966—1970.

Marile combinate de la Năvodari, Roznov, Făgăraș ,Craiova și Turnu Măgurele vor asigura în anul 1975, prin producțiile lor sporite realizarea a 2600 mii tone îngrășăminte chimice cu 100% substanță activă.

La predarea „Carbonului" (anul II) un loc deosebit a fost acordat extracției și prelucrării acestuia. Vorbind elevilor despre extracția cărbunelui am arătat contrastul izbitor dintre actualele metode mecanizate, care vor conduce în 1975 la 38,5 mii tone cărbune extras, față de trecutele practici și utilaje, ce au făcut atîtea victime.

Chimizarea cărbunelui a constituit de asemenea obiectul unei aprecieri deosebite, deoarece ea corespunde uneia din cele mai remarcabile realizări a cadrelor noastre tehnice.

Deși teoriile pseudo- științifice ale specialiștilor burghezi condamnaseră cărbunele din Valea Jiului ca necocsificabil, La Uzina Cocsochimică din Hunedoara s-a fabricat cocs metalurgic din huilele din Valea Jiului.

Fierul și metalurgia au constituit obiectul unor relatări mai ample asupra creșterii producției de fontă și oțel prin construirea marelui Combinat siderurgic de la Galați.

Astfel, s-a precizat că producția globală a industriei metalurgice feroase, inclusiv extracția minereurilor feroase, va fi în 1975 de 40,1—41,7 miliarde lei, iar producția de oțel va fi la sfîrșitul actualului cincinal de 9700 mii tone.

Zgurile de furnal care altă dată constituiau un balast pentru întreprinderile siderurgice, astăzi sînt valorificate în industria cimentului la obținerea cimentului metalurgic, sau în industria de prefabricate de beton.

Un alt mijloc de realizare a educației patriotice a elevilor, îl constituie vizitele la întreprinderi și mari combinate chimice, unde școlarii iau contact direct cu realitățile prezentate de profesor la clasă.

Astfel, numai în actualul an școlar s-au organizat și realizat de către Liceul „Spiru Haret", vizitarea a 3 mari unități industriale și anume: „Uzina de aluminiu" de la Slatina; „Combinatul chimic de la Govora" și gigantul „Combinat petrochimic de la Pitești. "

Referindu-mă în continuare la frumoasa și interesanta vizită din orașul Pitești, trabuie să menționez că elevii au aflat cu acest prilej multe noutăți dintre care enumăr următoarele:

— ramura chimiei reprezintă 21,4% din totalul producției globale a municipiului Pitești.

— combinatul chimic a intrat în funcțiune în anul 1969

— la sfîrșitul anului 1970 combinatul a realizat o producție de peste 1,3 miliarde de lei; iar

— valoarea actuală a producției realizată în 24 ore este de 5 milioane lei.

Ceea ce a impresionat într-o mare măsură pe micii vizitatori a fost faptul că întreaga conducere a complicatelor instalații ale Combinatului petrochimic este complet automatizată. Un număr redus de cadre cu înaltă calificare, reușesc să stăpînească, cu o mare precizie, întregul proces de producție.

În celelalte vizite, dantelăria de conducte și instalații le-a dovedit elevilor complexitatea proceselor tehnologice care au loc, dar care sînt dominate cu competență de specialiști. Cu datele tehnice culese cu prilejul acestor deplasări elevii claselor speciale au putut să întocmească o gamă bogată și variată de probleme, care reflectă prin conținutul lor realizările industriei noastre chimice.

Cu aceste exemple, reduse ca număr, dar convingătoare și eficiente pentru scopul propus—realizarea educației patriotice a elevilor—închei prezentul articol subliniind însă că subiectul nu a fost epuizat. Profesorilor de chimie le rămîne astfel un cîmp larg deschis inițiativelor pentru a asigura „o conștiință înaintată" tineretului nostru. Tov. Nicolae Ceaușescu precizează în cuvîntarea ținută la Congresul IX al UTC „că o conștiință înaintată înseamnă spirit de înaltă răspundere față de poporul în mijlocul căruia te-ai născut, față de patria unde trăiești, înseamnă dorința arzătoare de a dărui totul cauzei fericirii celor ce muncesc".

BIBLIOGRAFIE

NICOLAE CEAUȘESCU — Raport la cel de al X-lea Congres al PCR
NICOLAE CEAUȘESCU — Expunere la Consfătuirea de lucru a activului de partid din domeniul ideologiei și al activității politice și cultural- educative
NICOLAE CEAUȘESCU — Semicentenarul glorios al P.C.R.
NICOLAE CEAUȘESCU — Cuvîntare la Congresul al IX-les al U.T.C.

PENTRU CLASELE SPECIALE DE FIZICĂ

ENERGIA CIMPURILOR ELECTRIC ȘI MAGNETIC

Lector *IOAN DRUICĂ ZELETIN*, Asistent *DANTE DEMIRIAN*, București*

Interacțiile dintre sarcinile electrice sau dintre conductorii străbătuți de curent nu pot fi explicate decît dacă se admite existența cîmpurilor electrice și respectiv magnetice. Pentru caracterizarea lor cantitativă se introduc vectorii intensitate de cîmp electric $\vec{E}$ și intensitate a cîmpului magnetic $\vec{H}$ (sau inducție magnetică $\vec{B} = \mu\vec{H}$).

În rîndurile ce urmează ne propunem stabilirea expresiilor pentru energia înmagazinată de cîmpurile electric și magnetic.

A. Cîmp electric.

a. Energia electrică a unui conductor încărcat.

Fie un conductor de formă oarecare situat în afară de orice influență electrică. Nefiind încărcat, potențialul conductorului va fi nul. Ne propunem să calculăm lucrul mecanic ce se efectuează la încărcarea conductorului cu sarcina Q, cînd potențialul conductorului devine V. Acest lucru mecanic se transformă în energie a cîmpului electric generat de conductorul încărcat (potrivit legii conservării energiei).

Fie q și v sarcina și respectiv potențialul conductorului la un moment dat. Transportul sarcinii dq, de la infinit pe conductor, impune efectuarea lucrului mecanic:

$$dL = v \cdot dq$$

Lucrul mecanic total se obține prin integrare:

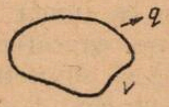


Fig. 1

$$L = \int_0^Q v \cdot dq = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} Q.V = \frac{1}{2} CV^2$$

---

* Institutul de Construcții, Catedra de Fizică.

Deci :

$$W = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 \qquad (1)$$

b. *Energia electrică a unui condensator.*

Pentru un condensator de capacitate C şi cu diferenţa de potenţial între armături : $V_1 - V_2 = U$, energia electrică va fi prin analogie cu energia unui conductor încărcat :

$$W = \frac{1}{2}C \cdot U^2 \qquad (2)$$

c. *Densitatea de energie a cîmpului electric.*

Prin definiţie, densitatea de energie a cîmpului reprezintă energia cuprinsă în unitatea de volum. Pentru calcul vom folosi rezultatul de la condensatorul plan :

$$w = \frac{W}{V} = \frac{1}{2}\frac{CU^2}{Sd} = \frac{1}{2}\frac{\varepsilon S}{d} \cdot \frac{U^2}{Sd} = \frac{1}{2}\varepsilon\frac{U^2}{d^2} = \boxed{\frac{1}{2}\varepsilon E^2 = w} \qquad (3)$$

deoarece pentru condensatorul plan $U = E \cdot d$.

De remarcat că energia electrică a condensatorului plan este concentrată în cîmpul electric dintre armături. Relaţia (3) este adevărată pentru orice situaţie (în orice punct unde valoarea intensităţii cîmpului este E, densitatea de energie a cîmpului este w).

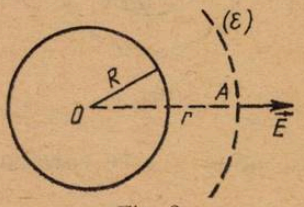


Fig. 2

d. *Energia cîmpului electric generat de o sferă de rază R încărcată cu sarcina Q.*

1. Distribuţie superficială de sarcină de densitate $\sigma = Q/4\pi R^2$. Fie A un punct aflat la distanţa r de centrul O, al sferei încărcate cu sarcina Q. Fie Σ sfera ce trece prin A, concentrică cu sfera dată. Teorema lui Gauss referitoare la fluxul cîmpului electrostatic ce traversează suprafaţa Σ, permite calculul intensităţii cîmpului electric :

$$\iint_{(\Sigma)} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\varepsilon} \text{ adică : } E \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\varepsilon}$$

de unde :

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon r^2}.$$

Fie Σ' sfera de rază $r + dr$. În spaţiul cuprins între Σ şi Σ', cîmpul $\vec{E}$ poate fi conisderat constant ca mărime şi rezultă pentru energia cîmpului electric cuprinsă între aceste sfere :

$$dW = w \cdot dV = \frac{1}{2} \varepsilon E^2 \cdot 4\pi r^2 dr = \frac{Q^2}{8\pi\varepsilon} \cdot \frac{dr}{r^2}. \quad (4)$$

Integrînd de la R pînă la infinit obținem :

$$W = \int_R^\infty dW = \frac{Q^2}{8\pi\varepsilon} \int_R^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{Q^2}{8\pi\varepsilon R} \quad (5)$$

2. Distribuție volumică de sarcină de densitate : $\rho = \frac{3Q}{4\pi R^3}$. În acest caz energia cîmpului electric generat de sferă se compune din energia cîmpului din interiorul sferei și a cîmpului din exteriorul sferei.

$$W = W_{interior} + W_{exterior}$$

Pentru a evalua energia din interiorul sferei este necesar să calculăm cîmpul electric din interiorul sferei. Vom aplica teorema lui Gauss referitoare la fluxul cîmpului electric din suprafața Σ, situată în interior.

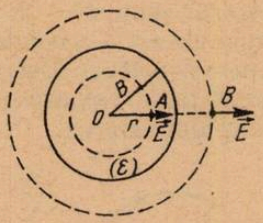


Fig. 3

Avem : $\iint_{(\Sigma)} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon}$, unde q este sarcina închisă de suprafața Σ.

Deoarece $\vec{E}$ are aceeași valoare pe (Σ) se obține :

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{\rho}{\varepsilon} \cdot \frac{4\pi r^3}{3} \text{ de unde : } E = \frac{\rho}{3\varepsilon} \cdot r.$$

Înlocuind expresia cîmpului în densitatea de energie și integrînd de la 0 la R se obține :

$$W_{int} = \frac{2}{9} \frac{\rho^2 \pi}{\varepsilon} \int_0^R r^4 dr = \frac{2\pi\rho^2}{9\varepsilon} \cdot \frac{R^5}{5}.$$

și deoarece $\rho = \frac{3Q}{4\pi R^3}$, vom obține prin înlocuire :

$$W_{int} = \frac{Q^2}{40\pi\varepsilon R} \quad (6)$$

Deoarece cîmpul electric din exterior este același ca în cazul (d1), energia cîmpului exterior este dată de relația (5).

Energia totală a cîmpului va fi :

$$W = \frac{3}{5} \cdot \frac{Q^2}{4\pi\varepsilon R} \tag{7}$$

e. *Pentru electronul de sarcină e şi masă de repaus m_0.*

1. Dacă sarcina electronului este distribuită pe sfera de rază r_0, energia cîmpului său electric este :

$$W_e = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_0} \tag{8}$$

Considerînd că întreaga masă de repaus a electronului este de natură electrică, prin egalarea energiei de repaus a electronului cu energia cîmpului său electric, se obţine pentru raza electronului expresia :

$$r_0 = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 m_0 C^2} = 1{,}41 \cdot 10^{-15}\text{m}.$$

2. Dacă se consideră că sarcina electronului este distribuită pe sfera de rază r_0, din egalarea energiei de repaus cu energia cîmpului electric, rezultă pentru raza electronului expresia :

$$r_0 = \frac{3e^2}{20\pi\varepsilon_0 m_0 c^2} = 1{,}6925 \cdot 10^{-15}\text{m}.$$

Ambele valori obţinute sînt de ordinul de mărime al razei „clasice" a electronului, însă ipoteza că întreaga masă a electronului ar fi de natură electrică nu este adevărată.

B. Cîmp magnetic.

La început vom reaminti cîteva lucruri privitoare la cîmpul magnetic, utile în deducerea expresiei densităţii de energie a cîmpului magnetic.

a. *Inducţia magnetică a unui solenoid.*

Potrivit ipotezei lui Laplace (avînd ca punct de plecare legea lui Biot-Sawart), inducţia magnetică elementară $\mathrm{d}\vec{B}$, generată de elementul de lungime $\vec{dl}$ în punctul A (vezi figura alăturară) este dată de :

$$\mathrm{d}\vec{B} = \frac{\mu I}{4\pi} \cdot \frac{\mathrm{d}l \times \vec{r'}}{r'^3}$$

care prin integrare dă inducţia magnetică generată de firul rectiliniu infinit lung, străbătut de curentul I :

$$B = \mu \frac{I}{2\pi r}$$

Luînd integrala pe conturul (Γ) a vectorului $\vec{B}$ (circulația vectorului $\vec{B}$) se obține legea circuitului magnetic (legea lui Ampère) adică :

$$\oint_{(\Gamma)} \vec{B} \cdot \vec{dl} = \oint_{(\Gamma)} \frac{\mu I}{2\pi r} dr = \frac{\mu I}{2\pi r} \oint_{(\Gamma)} dl = \frac{\mu I}{2\pi r} \cdot 2\pi r = \mu I.$$

În cazul în care conturul închide mai mulți curenți, relația de mai sus se scrie :

$$\oint_{(\Gamma)} \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu \Sigma I_i$$

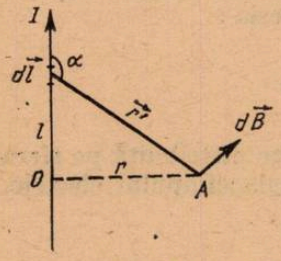


Fig. 4

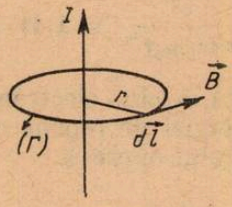


Fig. 5

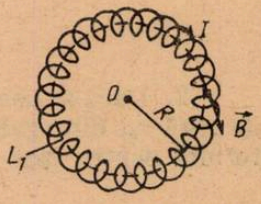


Fig. 6

Legea circuitului magnetic permite calculul inducției magnetice generate de un solenoid. Pentru un tor cu N spire, luînd circulația vectorului $\vec{B}$ pe conturul (Γ) de lungime L_1, se obține :

$$\oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu \cdot N \cdot I \text{ de unde : } B = \frac{\mu NI}{L_1}$$

Dacă raza R a torului tinde la infinit, o porțiune din tor devine un solenoid liniar. Pentru un solenoid de lungime l vom avea :

$$B = \mu \frac{NI}{l}.$$

Fluxul inducției magnetice din solenoid va fi :

$$\Phi = B \cdot N \cdot S = \frac{\mu NI}{l} N \cdot S = \frac{\mu N^2 S}{l} \cdot I = L \cdot I$$

unde L se numește inductanța solenoidului.

b. *Energia cîmpului magnetic al unui solenoid.*

Fie un solenoid ce are N spire, lungimea l și aria spirei S. Solenoidul se află în circuitul unei baterii astfel încît curentul ce străbate solenoidul este I. (poziția a pe figura alăturată). Trecînd contactul pe poziția b, curentul din solenoid va scădea, avînd ca urmare o scădere a fluxului magnetic ce traversează solenoidul și va duce la apariția unei tensiuni electromotoare de autoinducție (e), a cărei valoare la un moment dat este :

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -L \cdot \frac{di}{dt}.$$

unde i este valoarea momentană a curentului, curent ce traversează rezistența R. Energia electrică ce se degajă în rezistența R este :

$$W = \int_I^0 e \cdot i \cdot \mathrm{d}t = -L \int_I^0 i \cdot \mathrm{d}i = \frac{1}{2} L \cdot I^2 = W_{magnetic}. \qquad (9)$$

Energia ce s-a degajat în rezistența R este energia pe care solenoidul o înmagazinase sub formă de energie a cîmpului magnetic.

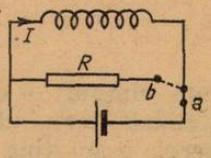


Fig. 7

c *Densitatea de energie a cîmpului magnetic.*

Energia din unitatea de volum a cîmpului magnetic al solenoidului este :

$$w = \frac{W}{V} = \frac{LI^2}{2Sl} = \frac{\mu N^2 S I^2}{2 Sl^2} = \frac{\mu N^2 I^2}{2 l^2} = \frac{B^2}{2\mu}$$

Deoarece $B = \mu \cdot H$ rezultă :

$$\boxed{w = \frac{1}{2} \mu H^2.} \qquad (10)$$

d. *Energia cîmpului magnetic generat de o sarcină în mișcare.*

Fie sarcina q ce se deplasează cu viteza $\vec{v}$ după axa **Oz**. Inducția magnetică generată de această sarcină în mișcare, în punctul A, va fi :

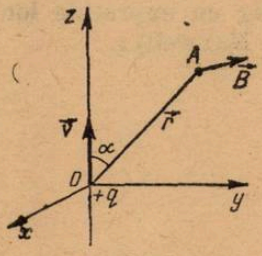


Fig. 8

$$B = \frac{\mu I}{4\pi} \cdot \frac{\vec{\mathrm{d}l} \times \vec{r}}{r^3} =$$

$$= \frac{\mu}{4\pi} \cdot \frac{q}{\mathrm{d}t} \cdot \frac{(\vec{v} \cdot \mathrm{d}t) \times \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu q}{4\pi} \cdot \frac{\vec{v} \times \vec{r}}{r^3} \cdot$$

sau :

$$B = \frac{\mu q}{4\pi} \cdot \frac{v \sin \alpha}{r^2} \cdot \qquad (11)$$

Energia cîmpului magnetic generat de această sarcină va fi :

$$W = \frac{1}{2\mu} \int B^2 \cdot \mathrm{d}V$$

integrala extinzîndu-se la întreg spațiul. Exprimînd elementul de volum în coordonate sferice $\mathrm{d}V = r^2 \sin\alpha \, \mathrm{d}r \cdot \mathrm{d}\alpha \cdot \mathrm{d}\varphi$ și integrînd se obține :

$$W = \frac{1}{2\mu} \int_{r_0}^{\infty} \int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} \frac{\mu^2 q^2}{16\pi^2} \frac{v^2 \sin^2\alpha}{r^4} r^2 \sin\alpha \, \mathrm{d}r \, \mathrm{d}\alpha \, \mathrm{d}\varphi =$$

$$= \frac{q^2 v^2 \mu}{32\pi^2} \int_{r^0}^{\infty} \int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} \frac{\mathrm{d}r}{r^2} \sin^3\alpha \, \mathrm{d}\alpha \cdot \mathrm{d}\varphi$$

Rezultă :

$$W_{magn} = \frac{\mu q^2 v^2}{24\pi r_0} \tag{12}$$

Egalînd energia magnetică a electronului cu energia sa cinetică se poate obține raza r_0 a acestuia.

C. Cîmp electromagnetic

În cazul existenței a două cîmpuri — electric și magnetic — cîmpuri ce se generează unul pe celălalt, formînd ceea ce numim cîmpul electromagnetic, densitatea de energie a acestuia va fi :

$$w = \frac{1}{2}(\varepsilon \vec{E}^2 + \mu \vec{H}^2) \tag{13}$$

Energia cîmpului electromagnetic cuprinsă în volumul V va fi dată de :

$$W = \frac{1}{2} \iiint_{(V)} (\varepsilon \vec{E}^2 + \mu \vec{H}^2)\, dV$$

Luînd derivata în raport cu timpul a expresiei de mai sus se obține :

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{1}{2} \iiint_{(V)} \left(\varepsilon \vec{E} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu \vec{H} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \right) dV$$

Dacă înlocuim derivatele parțiale ale cîmpurilor cu expresiile lor din ecuațiile cîmpului electromagnetic (ecuațiile lui Maxwell) :

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{B} = \varepsilon\mu \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

adică :

$$\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{E}$$

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \nabla \times \vec{H}$$

obținem :

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{1}{2} \iiint_{(V)} [\vec{E}(\nabla \times \vec{H}) - \vec{H}(\nabla \times \vec{E})]\, dV = \frac{1}{2} \iiint_{(V)} \nabla (\vec{H} \times \vec{E})\, dV$$

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

sau :

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -\frac{1}{2}\iiint_{(V)} \nabla (\vec{E}\times\vec{H})\,\mathrm{d}V.$$

Notînd : $\vec{P} = \vec{E}\times\vec{H}$ şi folosind teorema lui Gauss relaţia devine :

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -\frac{1}{2}\iint_{(S)} \vec{P}\cdot \mathrm{d}\vec{S}. \qquad (14)$$

Vectorul $\vec{P} = \vec{E}\times\vec{H}$ se numeşte vectorul lui Poynting. Ultima relaţie arătă că variaţia în unitatea de timp a energiei cîmpului electromagnetic dintr-un volum V este egală cu fluxul vectorului $\vec{P}$ prin suprafaţa S ce mărgineşte acel volum. (semnul minus din faţa integralei arată că este vorba de fluxul ce intră în S).

ERATA

Autorii articolului „Aspecte ale emisiunii electronice la substanţele metalice" apărut în R.F.C seria A nr. 8 sînt:

P. Crăciun, asist. Inst. Polit. Timişoara, Fac. de Chimie Industrială.

V. Păcuraru, prof. Liceul Construcţii, Timişoara.

CĂTRE COLABORATORII NOȘTRI,

Articolele, notele și orice materiale destinate publicării în Revista de Fizică și Chimie seria A trebuie să fie redactate clar și concis (maximum 10 pagini dactilografiate la două rînduri) în două exemplare, însoțite de figuri desenate separat de text, cît mai sugestive, de preferință în tuș pe calc. Fotografiile trebuiesc executate în contrast puternic alb-negru. Figurile și fotografiile trebuiesc trimise de asemenea în două exemplare.

Articolele trebuiesc semnate (dactilografiat) imediat sub titlu împreună cu titlul didactic și localitatea autorului.

Pe ultima pagină, pe ambele exemplare trebuie scrisă complet adresa autorului.

În același plic cu materialul colaboratorii noștri sînt rugați să introducă și o carte poștală cu adresa propie (la destinatar) pentru a ne ajuta în promptitudinea răspunsului.

Materialele ne publicate nu se restituie autorilor.

Pe adresa redacției primim propunerile și sugestiile Dvs. cu privire la tematica Revistei, note critice asupra articolelor publicate pînă acum.

Dorim ca Revista de Fizică și Chimie să vă fie de un real folos în activitatea Dvs. științifică și didactică.

Pentru a veni în sprijinul cititorilor care doresc să-și procure numere mai vechi din RFC, anunțăm că se mențin în vînzare, un an de la apariție, cîteva exemplare din fiecare număr la magazinele de anticariat ale Direcției de Expediere a Presei. Dăm adresa lor :

București : Bd. Magheru nr. 18 sector I, Cluj : Str. Dr. Petru Groza nr. 32, Iași : Piața Unirii nr. 7, Timișoara : Str. 9 Mai nr. 3.

Pentru a vă asigura cu regularitate revista, și a avea completă colecția, abonați-vă pe o perioadă mai îndelungată.

Costul unui abonament anual lei 36.

Costul unui abonament pe 6 luni lei 18.

Comitetul de redacție

I. P. „Informația" — c. 1720

Index 43 459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

SERIA A
VOLUMUL IX

10

OCTOMBRIE 1972
RFCABV 9(10) 361–400 (1972)

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI—46, TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag

Prof. *I.Chelu*, prof. *E. Constantinescu*, Prof. *L. Panaiotu*, Prof. *M. Petrescu Prahova*, prof. *N. Stănescu*, București

1.Pentru continuitate în învățarea fizicii la diferite nivele 361

Prof. *dr. B. F. Rothenstein*, Timișoara

2. Termodinamica și teoria informațiilor 367

Asist. *Corneliu Ciubotariu*, Iași

3. Originea cîmpurilor magnetice cosmice 374

N. Comaniciu, V. Drăgănescu, N. J. Ionescu—Pallas, V. Tatu, București

4. Structuri hiperfine și deplasări izotopice în spectrele atomice 382

Ing. *Tudor Surdeanu*, Cluj

5. Despre formele polimorfe ale Al_2O_3 393

Asist. *M. Contineanu*, București

6. Tehnica radiolizei în impuls. 397

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, conf. univ; Teodor Bohățiel, lector univ; Simion Bulgărea, prof.; Maria Codreanu, prof.; Andra Körner, redactor; Nicolae Martalogu, conf. univ.; Eleonora Mihul, cercetător; Ion C. Moisil, conf. univ.; Alice Nejoescu, prof.; Ion C. Petrea, conf. univ.; Victor Sahini, prof.univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); Elena Teodoru, prof.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Anul IX nr. 10 octombrie 1972

PENTRU CONTINUITATE IN INVĂŢAREA FIZICII LA DIFERITE NIVELE

Prof. *IUNIAN CHELU*, prof. *EMILIA CONSTANTINESCU*,
prof. *LIDIA PANAIOTU*, prof. *MARIA PETRESCU-PRAHOVA*
prof. *NICOLAE STĂNESCU*, Bucureşti

I. — Conducerea ştiinţifică a activităţii în orice domeniu — şi, deci, şi în învăţămînt — impune, ca moment esenţial, precizarea obiectivelor ce trebuie atinse prin activitatea respectivă.

Din această perspectivă, este necesar să se aibă în vedere că societatea noastră în permanentă dezvoltare formulează obiective noi în comanda făcută învăţămîntului. Şcoala trebuie să ţină seama de dinamica obiectivelor educaţionale şi să-l formeze pe elevul de azi — omul societăţii de mîine — astfel încît să fie apt de a se integra creator în viaţa socială în condiţiile marilor transformări ce se vor opera în viitor.

Pregătirea pentru viitor a tineretului comportă luarea în consideraţie a acelor parametri care provoacă schimbări de orientare a învăţămîntului, cum sînt :

— creşterea accelerată a informaţiei, ceea ce impune deplasarea accentului de pe „înmagazinarea" cunoştinţelor spre metodologie, spre însuşirea metodelor şi tehnicilor, a mijloacelor de manipulare a informaţiilor, spre un învăţămînt operaţional ;

— ponderea sporită a ştiinţelor naturii, care determină necesitatea accentuării culturii ştiinţifice a tineretului ;

— apariţia unor domenii de graniţă, ceea ce invită la abordarea într-o viziune unitară şi sistematică a realităţii şi renunţarea la „atomizarea" acesteia în cadrul unor discipline delimitate tranşant ;

— apariţia unor noi teorii, a unor noi concepţii, modificarea unor puncte de vedere care afectează întregi domenii ale ştiinţei — ceea ce implică restructurarea conţinutului învăţămîntului din perspectiva noilor achiziţii ale ştiinţei.

Parametrii specificaţi impun schimbări de orientare a sistemului de învăţămînt în ansamblu, de la primul pînă la ultimul său nivel pe toate coordonatele sale (conţinut, metode, mijloace, organizare) pentru a se asigura o perfectă *continuitate* în acţiunea educativă în raport cu obiectivele urmărite.

Din această perspectivă ne propunem să abordăm şi problema perfecţionării învăţămîntului fizicii în ţara noastră.

Dintre domeniile ştiinţifice, se pare că tocmai fizica a trecut prin cele mai mari transformări în ultimele decenii şi de aceea este cu totul firească necesitatea modernizării ei la toate nivelele şcolare.

Reflectarea în conţinutul învăţămîntului a marilor schimbări din fizică trebuie să se facă, însă, astfel încît să nu se piardă din vedere că elevul (studentul) dispune de o capacitate de învăţare relativ constantă

în raport cu ritmul acumulărilor ştiinţifice şi că, prin urmare, este necesar să se opereze o selecţie riguroasă în cantitatea de informaţie existentă în patrimoniul ştiinţei. Este, de asemenea, necesar să se ţină seama că nu se poate preda „totul" de la început. Cunoaşterea domeniului fizicii trebuie să se înfăptuiască progresiv, prin aproximări succesive, de-a lungul întregii şcolarităţi, realizîndu-se pe fiecare treaptă de învăţămînt însuşirea cunoştinţelor la nivelul posibilităţilor de înţelegere ale elevilor, dar fără a se face concesii rigurozităţii ştiinţifice. Asigurîndu-se continuitatea în învăţare, noţiunile vor putea fi mereu îmbogăţite şi adîncite, fără a trebui să fie înlocuite în esenţa lor.

Asigurarea continuităţii în învăţămîntul fizicii presupune existenţa unei *concepţii unitare*, atît în ceea ce priveşte elaborarea programelor şi manualelor şcolare, cît şi desfăşurarea procesului de învăţămînt.

Analiza — din acest punct de vedere — a actualului învăţămînt al fizicii, pune în evidenţă carenţe la toate nivelele :

— Programele nu sînt realizate într-o concepţie unitară şi cu deschidere spre viitor, ci sînt întocmite pe cicluri, de către colective diferite, neasigurîndu-se întotdeauna succesiunea şi continuitatea cunoştinţelor.

— Revizuirea, pe parcurs, a programelor (constînd mai ales în introducerea unor achiziţii noi ale ştiinţei în cadrul structurilor existente şi în eliminarea cunoştinţelor perimate), a avut drept consecinţă imediată afectarea unităţii structurale a cunoştinţelor.

— Manualele şcolare sînt elaborate de colective separate, pe clase, evaluarea lor nu se face după criterii obiective — în baza unei concepţii unitare şi în lumina obiectivelor predării fizicii — ci se întemeiază pe „competenţă ştiinţifică", „experienţă didactică" şi „bun simţ", ceea ce, în mod firesc, are drept urmare interminabile controverse.

— Lipsa de unitate în învăţămîntul fizicii se manifestă şi în modul în care se realizează pregătirea profesorilor de fizică (şi de chimie), la două nivele : pentru şcoala generală — în institutele pedagogice — şi pentru liceu — în universităţi.

II. — Unitatea de sistem şi continuitatea în învăţarea fizicii la toate nivelele şcolarităţii se poate realiza atît prin conţinut şi metode de învăţămînt cît şi prin pregătirea cadrelor.

1. Conţinutul învăţămîntului

Realizarea obiectivelor formative ale fizicii impune :

1.1. *Selecţionarea conţinutului* în sensul includerii în programe numai a informaţiei necesare — şi suficiente — pe baza căreia elevii să-şi însuşească *conceptele de bază* ale ştiinţei, accentuîndu-se, în schimb, *latura metodologică*, operaţională, prin care elevul îşi însuşeşte „spiritul metodei ştiinţifice". „La fizică — subliniază acad. Şerban Ţiţeica — se învaţă spiritul metodei ştiinţifice (...) şi se învaţă în special la fizică fiindcă (...) fizica este prototip pentru celelalte ştiinţe". Ca atare „să alegem acele fapte care sînt semnificative pentru a arăta cum gîndeşte fizicianul cum ajunge să organizeze faptele într-o lege, fie de natură dinamică, cum e legea deterministă, ca de exemplu legea căderii corpurilor, fie într-o lege statistică, cum este legea dezintegrării radioactive". [1]

---

[1]) Caietele colocviului „Cercetarea interdisciplinară a învăţămîntului". Volumul Fizică-Chimie.

O altă linie de continuitate între nivelele de învățare a fizicii este introducerea și dezvoltarea conceptelor în fluxul învățării, astfel încît ele să poată fi extinse și adîncite, adică să-și sporească încărcătura de semnificații, fără a fi nevoie să le înlăturăm. Nu trebuie să pierdem din vedere că, așa cum arată H. Freudenthal (la Comisia internațională a învățămîntului matematicii — C.I.E.M. — din 1962): „Fiecărui nivel îi corespunde o formă de exactitate care îi este proprie" și că — după cum subliniază J. Bruner — „orice idee, orice problemă și orice sumă de cunoștințe poate fi prezentată într-o formă destul de simplă pentru ca orice elev să le poată înțelege într-o versiune recognoscibilă". [2] De aceea „oricărui copil, la orice stadiu de dezvoltare, i se poate preda orice obiect de învățămînt într-o formă intelectuală adecvată". [3]

Așadar, noțiunile trebuie introduse cu gradul de rigurozitate corespunzător vîrstei elevilor și treptei de învățămînt și nu deformate. Astfel în școala generală este necesar să se prezinte mărimile orientate, de la început ca atare și nu ca mărimi scalare cărora să li se „lipească" în liceu caracterul de mărimi orientate; de asemenea este cu totul neindicat ca masa să fie introdusă în clasa a VI-a nu ca măsură a inerției, ci drept cantitate de materie, așa cum se întîmplă de multe ori, datorită tendinței — cu totul nejustificate — de a „substanțializa" mărimile fizice, ca și cum în acest mod ar deveni mai accesibile.

1.2. *Structura conținutului.* — Structurarea cunoștințelor în programe în raport cu logica științei poate realiza o continuitate riguroasă în învățare.

Particularitățile de însușire a cunoștințelor de către elevii de diferite vîrste impune, însă, mai ales la clasele mici, anumite abateri de la logica științei, aceste abateri realizîndu-se tocmai în scopul creării premiselor necesare înțelegerii adecvate a noțiunilor. Astfel, deși studiul cantitativ al fenomenelor electrostatice a început cu descoperirea legii lui Coulomb, o structurare logică a acestui studiu în școala de cultură generală trebuie să aibă o altă succesiune: sarcină, forță de interacțiune, cîmp electrostatic, intensitatea cîmpului, linie de cîmp, potențial electric; apoi să intervină expresia legii lui Coulomb, pentru cazul particular al cîmpului electrostatic radial. În felul acesta elevii nu mai ajung să considere legea lui Coulomb drept cazul general și să o aplice chiar și în cazul calculării forței dintre armăturile unui condensator.

1.3. *Folosirea instrumentului matematic.* — Utilizarea limbajului matematic în școală constituie un mijloc de exprimare cantitativă, simbolică și sintetică. Prin el conceptele fizice dobîndesc precizie, supleță de manipulare și forță de sintetizare. Important este să nu se piardă din vedere că în studiul fizicii limbajul matematic este un instrument indispensabil, dar nu un scop în sine.

Limbajul matematic adecvat pentru descrierea sistemelor, stărilor, interacțiunilor și proceselor fizice este necesar, dar utilizarea lui conștientă de către elevi impune o strînsă corelație între învățămîntul fizicii și al matematicii. Problema corelației nu trebuie înțeleasă însă unilateral, în sensul că fizica n-ar putea constitui uneori un punct de plecare pentru însușirea anumitor mărimi matematice.

---

[2] Jerôme S. Bruner: Pentru o teorie a instruirii, Edit. didactică și pedagogică, București, 1970, p. 59.

[3] Jerôme S. Bruner: Procesul educației intelectuale, Ed. științifică, București, 1970, p. 58.

La primul Congres internațional pentru învățămîntul matematic (Lyon ,1969), A. Marcușevici[4] a spus : „Credem cu tărie că anumite noțiuni matematice trebuie în prealabil considerate în lecțiile de fizică" și dă ca exemple, vectorii și derivatele .Aceeași idee este susținută și de H. Poincaré, precum și de acad. Șt. Țițeica.

1.4. *Limbajul în fizică.* — Linia pe care se realizează cel mai slab continuitatea între diferitele nivele de predare ale fizicii în prezent, o constituie limbajul specific. Dar deosebirile de limbaj nu se întîlnesc numai între nivele, ci și în interiorul aceluiași nivel. E destul să comparăm între ele, din acest punct de vedere, manualele de fizică pentru liceu — cursurile universitare.

Dar limbajul este suportul semnificațiilor. Dacă formalismul matematic al simbolurilor mărimilor fizice exprimă sintetic și riguros funcțiile și relațiile dintre mărimi, asigură generalitatea conceptelor, limbajul adecvat reprezintă conținutul calitativ al conceptelor, sensul fizic al simbolurilor, al mărimilor, al fenomenelor, *semnificația fizică*. Dificultatea în folosirea limbajului fizic provine de la faptul că, în timp ce conceptele fizicii sînt foarte mobile, se dezvoltă, se generealizează, devin mai abstracte, adică își variază conținutul, limbajul rămîne în unele compartimente același, deoarece el se naște o dată cu apariția ideii, a conceptului și nu evoluează întotdeauna concomitent cu acestea. Ca urmare o bună parte a limbajului actual din fizică nu mai reflectă just conținutul conceptelor, dar continuă să aibă circulație în zilele noastre. Dacă pentru fizician limbajul perimat nu reprezintă neapărat un pericol de înțelegere greșită, pentru elev limbajul perimat este generator de confuzii și devine frînă în asimilarea cunoștințelor în sens contemporan. Se pot aminti expresii „clasice" ca : lucrul mecanic înmagazinat sub formă de energie potențială, transformarea căldurii în lucru mecanic etc. Foarte utilă ar fi discutarea aspectelor legate de problema limbajului în predarea fizicii, pentru a se ajunge la o unitate de exprimare.

2. **Metodele de învățămînt.** Folosirea unor metode adecvate unui conținut modern al fizicii — pe toate treptele de învățămînt — este o condiție esențială pentru asigurarea eficienței învățării acestei discipline. Este evident că învățarea fizicii moderne prin metode vechi (expozitive, descriptive, care condamnă pe elevi și studenți la pasivitate) este un nonsens, dacă ținem seama de locul pe care trebuie să-l ocupe însușirea metodologiei științei în procesul de învățămînt, metodologie care nu poate fi însușită decît prin activitatea proprie a elevului.

Pe de altă parte, nu trebuie să se piardă din vedere că un copil nu este un adult în miniatură; el se apropie de condiția umană numai prin efort propriu și experiență personală, parcurgînd anumite etape ce se caracterizează prin moduri specifice de cunoaștere a realității.

De aceea, învățarea fizicii la diferitele nivele ale învățămîntului comportă folosirea unei tehnologii didactice diferențiate în raport cu particularitățile gîndirii elevilor de diferite vîrste. Altele vor fi metodele și mijloacele utilizate în învățămîntul superior — unde studenții prezintă sub raport intelectual toate caracteristicile omului adult — și altele vor fi cele folosite în clasele VI—VIII (în care sînt cuprinși elevi între 11—14 ani) și, desigur altele la liceu (unde elevii se află în plină adolescență).

---

[4] A. Marcușevici : Certains problèmes de l'enseignement des mathématiques à l'école. (Învățămîntul matematic în lumea contemporană), Edit. did. și ped., București, 1971.

Psihologia genetică atestă faptul că la vîrsta de 11—12 ani — cînd se începe în şcoală studiul fizicii — elevii beneficiază de „un mod de a raţiona care nu se mai referă exclusiv la obiecte sau al realităţi direct reprezentabile, ci la „ipoteze" [5] datorită căruia li se formează spiritul experimental, în sensul că „în prezenţa unui fenomen ceva mai complex (flexibilitate, oscilaţii ale unui pendul etc.) subiectul caută să disocieze factorii şi să-i facă să varieze fiecare în parte, neutralizîndu-i pe ceilalţi, sau să-i combine între ei în mod sistematic etc." [6]

Orientarea şi dezvoltarea acestor capacităţi, educarea elevilor în spirit experimental, însuşirea cunoştinţelor mai mult prin căutare şi descoperire decît prin memorare, constituie obiective importante pe care trebuie să le urmărească învăţămîntul fizicii la toate nivelele şcolare. Trebuie să renunţăm deci la ideea că elevul sau studentul şi-ar putea însuşi o formaţie experimentală numai prin cunoaşterea rezultatelor experimentelor din trecut sau prin demonstraţiile făcute de profesor. A gîndi astfel ar fi — spune Piaget — ca şi cum ne-am închipui că „cineva ar putea învăţa să înoate privind nişte înotători şi fără a părăsi băncile de pe mal. Este adevărat că, adesea, explicaţiile date de profesori sînt urmate de lucrări de laborator, dar repetarea unor experienţe făcute de alţii este încă foarte departe de educarea spiritului de invenţie şi chiar de formarea spiritului de control sau de verificare" [7].

Prin urmare, însuşirea „spiritului ştiinţei" este o problemă care se rezolvă de-a lungul întregii şcolarităţi şi nu numai la un anumit nivel, lucru subliniat şi de Conferinţa internaţională a învăţămîntului public (Sesiunea din 1959, recomandarea nr. 49, articolul 34): „Pentru a face să crească încă din şcoala primară interesul elevilor pentru studiile tehnice şi ştiinţifice, este potrivit să se utilizeze metodele active, care dezvoltă la elevi spiritul experimental".

Folosirea metodelor active modifică relaţia clasică profesor-elev (concepută ca relaţie emiţător-receptor) în sensul unei relaţii în care elevul — participant activ în procesul învăţării — tinde să devină din obiect, subiect al educaţiei, iar profesorul, din sursă de informaţie devine îndrumătorul şi organizatorul activităţii de cunoaştere desfăşurată de elevi.

Este drept că folosirea metodelor active este cu mult mai dificilă decît a celor receptive. Ea necesită din partea profesorului o pregătire mai serioasă nu numai în domeniul specialităţii ci şi al psihologiei şi al pedagogiei.

3. **Pregătirea şi perfecţionarea cadrelor didactice.** Din cele spuse rezultă că pregătirea şi perfecţionarea profesorilor de fizică atît pentru şcoala generală, cît şi pentru liceu, trebuie să cuprindă cel puţin trei componente: domeniul specialităţii; cunoştinţe de psihologie şi pedagogie; tehnologie didactică.

Deşi s-ar părea că această pregătire complexă a profesorilor este un lucru de la sine înţeles, trebuie să recunoaştem că universităţile noastre nu o realizează încă în suficientă măsură.

Dacă trimiterea unui muncitor în fabrică fără cunoştinţele şi deprinderile corespunzătoare exercitării meseriei respective apare pentru oricine ca un nonsens, în mod surprinzător nimeni nu pare a fi neliniştit de faptul

---

[5] Jean Piaget, Psihologie şi Pedagogie, E.D.P., Bucureşti, 1972, p. 32.
[6] Ibidem, p. 37.
[7] Jean Piaget — op. cit. p. 47.

că un absolvent al Facultății de fizică nu cunoaște programele școlare, n-are decît cele mai vagi idei despre psihologia copilului — pe care este chemat să îl formeze — ca și despre metodele și mijloacele de învățămînt pe care va trebui să le folosească în activitatea didactică. Această stare de lucruri se întemeiază pe prejudecata că este suficient să fii un bun specialist pentru a fi și un bun profesor. Aceeași prejudecată guvernează într-o anumită măsură și acțiunea de perfecționare a cadrelor didactice în care, adesea, se merge numai pe linia informării științifice a profesorilor.

Dar și în ceea ce privește *pregătirea de specialitate* în cadrul universității se pun probleme serioase. Datorită faptului că pînă în prezent nu a existat o preocupare consecventă de a forma pe studenți pentru a deveni profesori, ei nu au beneficiat de o pregătire corespunzătoare acestei profesiuni și, ca atare, nu sînt puține cazurile în care după specializarea efectuată, de exemplu în domeniul fizicii atomice, al spectroscopiei etc., absolventul este pus în situația de a „învăța" după manualele de liceu pentru a putea face față activității la catedră.

Se impune, ca atare, o revizuire a modului în care sînt pregătiți viitorii profesori de fizică astfel încît în facultate să primească cunoștințele de care vor avea nevoie în școală, respectiv : *cunoștințe generale* de fizică și *bazele metodologice* ale științei ; cunoștințe de psihologie genetică și de pedagogie ; cunoștințe de tehnologie a predării fizicii. Pe lîngă acestea, viitorul profesor va trebui să depună o susținută activitate practică la catedră. Ar fi de dorit ca fiecare student să fie repartizat pe lîngă cîte un profesor cu experiență și să paritcipe la întreaga activitate școlară a acestuia, pentru a se iniția în toate problemele pe care le ridică aceasta. În acest fel, desigur, absolvenții n-ar mai fi nevoiți să investească energie, timp de 2—3 ani după ce au fost repartizați în școală, încercînd să-și însușească în mod neorganizat cunoștințele și deprinderile necesare exercitării eficiente a activității la catedră și făcînd adesea experiențe triste în dauna pregătirii cîtorva serii de elevi.

În ceea ce privește *perfecționarea* profesorilor de fizică, cele trei componente amintite (specialitate ; psihologie-pedagogie ; tehnologie) ar trebui să cuprindă : *1*) interpretarea conceptelor fundamentale sau a celor noi ; reevaluarea conținutului fizicii clasice prin prisma noilor descoperiri ; interpretarea interdisciplinară a conceptelor fizicii ; explicarea interdisciplinară a fenomenelor naturii ; analiza metodelor de cunoaștere utilizate în fizică ; *2*) probleme de psihologia învățării ; analiza obiectivelor instructiv-educative ale învățării fizicii la diferitele nivele școlare ; însușirea principiilor pedagogice, a metodelor de învățare și a mijloacelor moderne de evaluare a randamentului școlar ; *3*) aplicarea practică a diferitelor metode de învățare în clase și școli-pilot ; însușirea tehnicilor de utilizare a materialului didactic nou.

4. **Concluzii și propuneri.** Optimizarea pregătirii tineretului în domeniul fizicii necesită asigurarea continuității în predarea acestui obiect de la primul pînă la ultimul nivel.

Principalele acțiuni ce trebuie întreprinse în acest sens sînt :

1) Definirea clară, riguroasă, în termeni de comportament, a obiectivelor predării fizicii în general și pe nivele școlare.

2) Structurarea programelor pe baza unei concepții unitare în funcție de obiectivele stabilite și de particularitățile procesului de însușire a cunoștințelor de către elevii de diferite vîrste.

3) Analiza programelor în lumina obiectivelor și a concepției după care au fost elaborate.

4) Experimentarea programelor înainte de a fi generalizate.

5) Realizarea manualelor şcolare pentru un întreg ciclu de către colective unice pentru a se asigura unitatea de concepţie şi continuitatea între clase; elaborarea cîtorva seturi paralele pentru ca practica să-l selecţioneze pe cel mai reuşit, după aplicarea în şcoală timp de cîţiva ani.

6) Stabilirea unei tehnologii didactice specifice fiecărui nivel (inclusiv pentru învăţămîntul superior).

7) În desfăşurarea procesului de învăţămînt să se urmărească:

— realizarea învăţării prin aproximări succesive care să tindă asimptotic către nivelul scontat; — transformarea relaţiei informativ-formativ în sensul realizării prioritare a aspectului formativ; — transformarea relaţiei profesor-elev din relaţia transmitere-recepţie în organizare (conducere)-activitate proprie; — legarea teoriei de practică; folosirea experimentelor atît în însuşirea cunoştinţelor, cît şi în aplicarea lor.

8) Pregătirea unică a profesorilor de fizică — atît pentru şcoala generală, cît şi pentru liceu — în cadrul universităţii şi perfecţionarea lor periodică la nivelul exigenţelor actuale ale şcolii noastre.

TERMODINAMICA ŞI TEORIA INFORMAŢIILOR

B. F. ROTHENSTEIN, Institutul Politehnic Timişoara

Fie în cele ce urmează o particulă, pentru simplificare un atom, într-un vas paralelipipedic, aşa cum se arată în Fig. 1. În limbajul mecanicii cuantice, particula se află într-o groapă de potenţial, mişcarea ei studiindu-se cu ajutorul ecuaţiei lui Schrödinger. Se constată că energia cinetică a particulei ε_x, asociată cu mişcarea ei în direcţia axei x este dată de [1]:

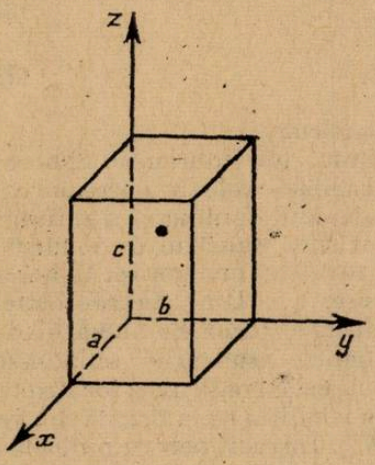


Fig. 1

$$\varepsilon_x = \frac{h^2}{8.m.a^2} \cdot n_x^2 \qquad (1)$$

unde h reprezintă constanta lui Planck, m masa particulei, a dimensiunea vasului în direcţia de deplasare, iar n_x un număr întreg şi pozitiv. Relaţia (1) evidenţiază faptul că energia particulei este determinată de un factor fizic:

$$\frac{h^2}{8.m.a^2}$$

ce poate fi variat doar prin modificarea dimensiunii corespunzătoare a vasului, şi de un factor numeric. Pentru energia cinetică a particulei se

obţine :

$$\varepsilon = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \frac{h^2}{8.m}\left[\frac{n_x^2}{a^2} + \frac{n_y^2}{b^2} + \frac{n_z^2}{c^2}\right] \tag{2}$$

unde ε_y şi ε_z reprezintă energiile cinetice ale particulei asociate cu mişcarea ei în direcţia axei y respectiv z. Relaţia (2) evidenţiază faptul că valorile posibile pentru energia cinetică a particulei formează un spectru discret, cu un număr infinit de nivele energetice, aşa cum se arată în Fig. 2 pentru cazul particular $a=b=c$ şi $n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 = i^2$ (3)

Dacă în vasul considerat se află N particule pe care noi le putem distinge şi care nu interacţionează între ele, energia totală a sistemului format de aceste particule este egală cu suma energiilor particulelor, şi prezintă interes cunoaşterea numărului n_1 de particule aflate pe nivelul cu energia ε_1, a numărului n_2 de particule aflate pe nivelul cu energia ε_2 ş.a.m.d.

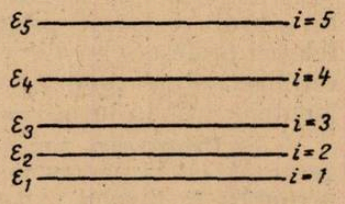


Fig. 2

Este evident că :

$$\sum_i n_i = N \tag{4}$$

şi că :

$$\Sigma n_i \,.\, \varepsilon_i = U \tag{6}$$

unde U reprezintă energia internă a sistemului de particule. Notînd cu :

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

probabilitatea evenimentului ce constă în faptul că o particulă se află pe nivelul energetic cu energia ε_i relaţiile (4) şi (5) se mai pot scrie şi sub forma :

$$\sum_i p_i = 1 \tag{6}$$

$$\sum_i p_i \,.\, \varepsilon_i = \bar{\varepsilon} \tag{7}$$

unde $\bar{\varepsilon}$ reprezintă energia cinetică medie a particulei.

Se determină în cele ce urmează cantitatea de informaţie S necesară pentru a cunoaşte modul în care se distribuie cele N particule pe nivelele energetice. Conform metodicii generale de determinare a cantităţii de informaţie [2] se determină în primul rînd numărul de moduri distincte W, în care poate avea loc popularea nivelelor energetice. În acest scop se consideră că fiecare nivel energetic este o „cutie", fiecare astfel de cutie se subdivide într-un număr de „subcutii" egal cu numărul de particule localizate pe nivelul respectiv, în fiecare „subcutie" aflîndu-se cîte o particulă. Numărul de moduri distincte în care poate avea loc dispunerea a N obiecte distincte în N „subcutii" cu condiţia ca în fiecare dintre ele să se afle o singură particulă, este egal cu N ! Întrucît pentru problema studiată nu este necesar să cunoaştem în care subcutie a nivelului se află cele n_i particule localizate pe el, se obţine :

$$W = \frac{N!}{n_1!.n_2!\ldots n!} \tag{8}$$

Pentru cantitatea de informaţie necesară S (numită uneori şi entropie informaţională) se obţine :

$$S = 2.\log_2 W = K.\ln W \tag{9}$$

unde K reprezintă o constantă. Înlocuind pe (8) în (9) şi ţinînd seama de formula lui Stirling :

$$\ln x! = x\ln x - x \tag{10}$$

se obţine :

$$S = K.\ln \frac{N!}{n_1.n_2!\ldots n_i!\ldots} = K.\ln N! - K\cdot \sum_i \ln n_i! = K\cdot[N\ln N - N - \\ - \sum_i (n_i \ln n_i - n_i)] = -K.N.\sum_i p_i..\ln p_i \tag{11}$$

Postulînd după Jaynes [3] că sistemul de particule alege acea distribuţie pentru a cărei cunoaştere este nevoie de cantitatea maximă de informaţie, rezultă că determinarea distribuţiei se face căutînd maximul lui S dat de (11), cu îndeplinirea simultană a condiţiilor (6) şi (7). Problema se rezolvă prin metoda multiplicatorilor lui Lagrange, conform căreia :

$$dS + (\lambda_0 - 1).dp_i + d(\sum_i p_i) + \lambda_1 . d(\sum_i p_i . \varepsilon_i) = 0 \tag{12}$$

unde λ_0 şi λ_1 reprezintă multiplicatori Lagrange al căror sens fizic trebueşte determinat. Pentru una dintre variabilele p_i se obţine din (12) :

$$[(1 + \ln p_i) + (\lambda_0 - 1) + \lambda_1 . \varepsilon_i].dp_i = 0 \tag{13}$$

şi întrucît $dp_i \neq O$ se obţine :

$$p_i = e^{-\lambda_0 - \lambda_1 \varepsilon_i} \tag{14}$$

Înlocuind pe (14) în (6) se obţine :

$$\lambda_0 = \ln \Sigma\, e^{-\lambda \varepsilon_i} \tag{15}$$

şi în consecinţă :

$$-\frac{\partial \lambda_0}{\partial \lambda_1} = \frac{\Sigma\, \varepsilon_i e^{-\lambda_1 \varepsilon_i}}{\Sigma\, e^{-\lambda_1 \varepsilon_i}} = \bar{\varepsilon} \tag{16}$$

Pentru entropia informaţională a sistemului se obţine :

$$S = -K.N\sum_i p_i(-\lambda_0 - \lambda_1 \varepsilon_i) = K.N[\lambda_0 \sum_i p_i + \lambda_1 \Sigma p_i \varepsilon_i] = K.N.[\lambda_0 + \lambda_1 \bar{\varepsilon}]$$

Pornind de la relaţia :

$$U = N.\sum_i (p_i . \varepsilon_i) \tag{17}$$

se pune problema modului în care se poate modifica energia internă a sistemului. Diferenţiind relaţia (17) se obţine

$$dU = N\ .\ [\sum_i p_i .\, d\,\varepsilon_i + \varepsilon_i\ .dp_i] \tag{18}$$

rezultînd că are loc o variaţie a energiei interne atunci cînd variază fie energia nivelelor enrgetice $d\varepsilon_1 \neq 0$), fie cînd variază probabilitatea de localizare a particulelor pe nivelele energetice ($dp_i \neq 0$).

Care este sensul fizic al celor doi termeni ce apar în membrul drept al relaţiei (18) ?. Fie în acest scop particulele studiate într-un vas cubic ai cărui pereţi se pot deplasa paralel cu ei înşişi. La o deplasare infinitezimală a acestor pereţi, energia unui nivel energetic variază cu

$$d\varepsilon_i = -\frac{h^2}{4.m.a^3}(n_x^2 + n_y^2 + n_z^2).da = n_i.d\,\varepsilon_i \qquad (19)$$

energia celor n_i particule situate pe acest nivel variind cu:

$$-\frac{h^2}{4.m.a^3}\cdot n_i \cdot (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2)\cdot da = n_i\, d\varepsilon_i \qquad (20)$$

iar energia întregului sistem suferă o variaţie dată de:

$$-\sum \frac{h^2}{4.m.a^3}\cdot n_i\cdot(n_x^2+n_y^2+n_z^2)\cdot\cdot da = \Sigma\, n_i\, d\varepsilon_i \qquad (21)$$

Numind lucru mecanic L o acţiune care modifică energia internă a sistemului, prin modificarea energei nivelelor energetice se constată că:

$$dL = -\sum_i n_i\,.d\varepsilon_i = -N.\ \sum_i p_i\cdot d\,\varepsilon_i \qquad (22)$$

semnul minus fiind determinat de o convenţie de semne, conform căreia lucrul mecanic se consideră pozitiv dacă el este asociat cu o creştere a volumului, deci cu o scădere a energiei nivelelor energetice.
Numind căldură Q acţiunea care modifică energia internă a sistemului, modificînd probabilitatea de localizare a particulelor pe nivelele energetice, fără a modifica energia acestor nivele, se constată că:

$$\sum_i N\cdot\varepsilon_i\cdot dp_i = dQ \qquad (23)$$

şi în consecinţă relaţia (18) poate fi scrisă sub forma:

$$dU = -dL + dQ \qquad (24)$$

relaţie ce constituie primul principiu al termodinamicii. Tribus [4]propune în scop ilustrativ un model ce constă dintr-o scară de cauciuc pe ale cărei trepte sînt dispuse bile identice. Treptele simbolizează nivelele energetice, bilele simbolizează particulele, iar energia nivelului este energia potenţială a bilei în cîmpul gravitaţional al Pămîntului (Fig. 3). Forţa F_1 întinzînd scara, măreşte energia potenţială corespunzătoare fiecăruia dintre nivele şi efectuează, în limbajul introdus mai sus, un lucru mecanic. Forţa F_2 alternativă, imprimă scării o mişcare oscilatorie şi modifică probabilitatea de locali zare a particulelor pe nivele energetice, fără a modifica energia nivelelor. Forţa F_2 nu

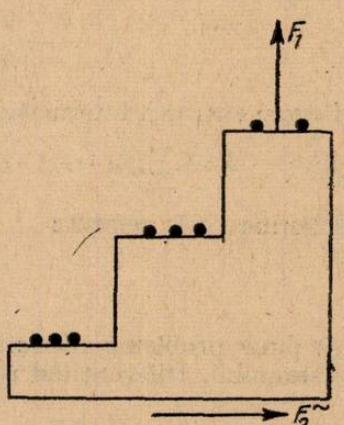


Fig. 3

efectuează un lucru mecanic, modifică energia sistemului şi acţiunea ei reprezintă căldura.

Să trecem acum la determinarea sensului fizic al multiplicatorilor Lagrange λ_0 şi λ_1. În acest scop se calculează energia cinetică medie a unui atom $\bar{\varepsilon}$, pentru care teoria cinetico-moleculară furnizează valoarea:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{3}{2} .k.T \tag{25}$$

unde k reprezintă constanta lui Boltzman, iar T temperatura absolută.

Relaţia (15) poate fi scrisă succesiv:

$$\lambda_0 = \ln \sum e^{-\lambda_1 \varepsilon_i} = \ln \sum_{n_x=1}^{\infty} e^{-\lambda_1 \frac{h^2}{8ma^2}} \cdot n_x^2 \sum_{n_y=1}^{\infty} e^{-\lambda_1 \frac{h^2}{8ma^2}} \cdot n_y^2 \sum e^{-\lambda_1 \frac{h^2}{8\,ma^2}} \cdot n_z^2 \tag{26}$$

Dat fiind numărul mare de nivele energetice ce stau la dispoziţia particulelor unui gaz ideal, distanţa dintre două nivele energetice este foarte redusă şi din acest motiv fiecare dintre sumele ce intervin în (26) poate fi înlocuită printr-o integrală, obţinîndu-se:

$$\lambda_0 = \ln \frac{V}{h^3} \left(\frac{2.\pi \,.\, m}{\lambda_1} \right)^{3/2} \tag{27}$$

unde $V = a^3$, reprezintă volumul ocupat de gaz. Ţinînd de seama (16) se obţine:

$$\varepsilon = -\frac{\partial \lambda_0}{\partial \lambda_1} = \frac{3}{2\,\lambda_1} \tag{28}$$

Din compararea relaţiilor (25) şi (28) se obţine:

$$\lambda_1 = (kT)^{-1} \tag{29}$$

relaţie ce determină sensul fizic al lui λ_1.

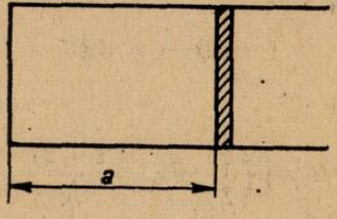


Fig. 4

În încheiere, se aplică primul principiu al termodinamicii sub forma (18), unor transformări simple. Dacă doar un singur perete al cutiei cubice este mobil, atunci ea poate fi asimilată cu un cilindru cu piston (Fig. 4), iar relaţia (21) furnizează pentru lucrul mecanice efectuat cu ocazia deplasării pistonului:

$$dL = \frac{2}{3} \cdot \sum_i \frac{h^2}{8 \cdot m \cdot a^2} \cdot n_i \cdot i^2 \cdot \frac{da}{a} = \frac{2.N}{3V} \sum_i \varepsilon_i \cdot p_i \cdot dV \tag{30}$$

Notînd cu P presiunea exercitată de gaz asupra pistonului, acelaşi lucru mecanic poate fi scris sub forma :

$$dL = P \cdot dV \tag{31}$$

obţinînd :

$$P = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \Sigma \varepsilon_i p_i = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \bar{\varepsilon} \tag{32}$$

relaţie furnizată şi de teoria cinetico-molecualră.

În cazul unei transformări izocore, volumul fiind menţinut constant, nu se efectuează lucru mecanic şi în consecinţă $L_{\text{izocor}} = 0$. Rezultă că într-un proces izocor energia nivelelor energetice rămîne constantă ($d\varepsilon_i = 0$). Singurul mod în care sistemul schimbă energie cu exteriorul fiind căldura, într-o transformare izocoră are loc doar o modificare a probabilităţii de localizare a particulelor pe nivelele energetice.

Aplicînd primul principiu al termodinamicii se obţine :

$$dQ = d\,U = N \cdot \Sigma\, \varepsilon_i \bar{\cdot} p_i \tag{33}$$

Ţinînd seama de (14) şi (15) precum şi de faptul că ε_i este constant se obţine :

$$dp_i = p_i (\bar{\varepsilon} - \varepsilon_i) \cdot d\,\lambda_1 \tag{34}$$

cu care (33) devine după unele calcule simple şi în ipoteza că la proces au participat un număr de molecule egal cu numărul lui Avogadro N_A :

$$dQ = \left(\frac{2}{3}\right)^2 \bar{\cdot} R \cdot \frac{\overline{\varepsilon^2} - (\bar{\varepsilon})^2}{(\bar{\varepsilon})^2} \cdot dT \tag{35}$$

unde R reprezintă constanta universală a gazelor, iar $\overline{\varepsilon^2} = \sum_i \varepsilon_i^2 \cdot p_i$ reprezintă media patratelor energiilor particulelor.

Întrucît aceeaşi cantitate de căldură poate fi exprimată şi prin intermediul căldurii specifice C_v :

$$dQ = C_v \,.\, dT \tag{36}$$

rezultă :

$$C_v = \left(\frac{2}{3}\right)^2 \cdot R \cdot \frac{\overline{\varepsilon^2} - (\bar{\varepsilon})^2}{(\bar{\varepsilon})^2} \tag{37}$$

Statistica matematică introduce pentru caracterizarea funcţiilor de distribuţie o mărime denumită „dispersie" a mărimii întîmplătoare, definită de relaţia [5] :

$$\nu = \overline{(A - \bar{A})^2} = A^2 - (\bar{A})^2 \tag{38}$$

şi reprezentînd media patratelor diferenţelor dintre mărimea întîmplătoare A şi media ei $\bar{A}$. Compararea relaţiilor (37) şi (38) evidenţiază faptul că prin căldură specifică trebueşte să înţelegem de fapt o măsură pentru dispersia energiei particulelor.

În cazul unei transformării izoterme $\lambda_1 = \text{constant}$, $T = \text{constant}$, $dT = 0$ și deci:

$$U = N \cdot \bar{\varepsilon} = \frac{3}{2} \cdot N \cdot k \cdot T \tag{39}$$

iar:

$$dU = \frac{3}{2} \cdot N \cdot k \cdot dT \cdot = 0 \tag{40}$$

Primul principiu al termodinamicii devine:

$$dQ - dL = 0 \tag{41}$$

rezultînd că dacă energia nivelelor energetice scade ca rezultat al efectuării de lucru mecanic înspre exterior, atunci cantitatea de căldură introdusă mărește probabilitatea de localizare a particulelor pe nivelele energetice cu energie mai mare, și invers în așa fel încît:

$$N (\Sigma p_i \cdot d\varepsilon_i + \Sigma \varepsilon_i dp_i) = 0 \tag{42}$$

În cazul unei transformări adiabatice sistemul neschimbînd energie cu exteriorul sub formă de căldură $dQ = 0$ și în consecință:

$$dU = - dL \tag{43}$$

Sub aspect microscopic, în timpul unei transformări adiabatice are loc o modificare a energiei nivelelor energetice, în schimb probabilitatea de localizare a particulelor pe nivelele energetice rămîne constantă.

Transformarea adiabatică se caracterizează prin $p_i = e^{-\lambda_0 - \lambda_1 \cdot \varepsilon_i} =$
$= \text{constant}.$ (44)

Lucrul mecanic efectuat în timpul unei transformări adiabatice se calculează pornind de la relația (22) și ținînd seama de (44):

$$dL = - N_A \sum_i p_i \cdot d\varepsilon_i = - N_A \sum_i d (p_i \cdot \varepsilon_i) = - N_A \cdot d (\Sigma p_i \cdot \varepsilon_i) = -$$

$$- N_A \cdot d\bar{\varepsilon} \tag{45}$$

și fiindcă:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$$

integrarea relației (45) conduce la:

$$L_{\text{adiabatic}} = - \frac{3}{2} \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$$

unde T_2 și T_1 reprezintă temperatura finală respectiv inițială. Pentru variația energiei interne se obține:

$$(U)_{\text{adiabatic}} = - L_{\text{adiabatic}} = C_v (T_2 - T_1)$$

Considerăm că acest mod de prezentare a primului principiu al termodinamicii permite o definire fără echivoc a noțiunilor de căldură și o mai bună pregătire a terenului pentru înțelegerea profundă a celui de al doilea principiu.

BIBLIOGRAFIE

[1] *D.I.Blohinţev*, Bazele Mecanicii Cuantice, Editura Tehnică 1954
[2] *Al. Spătaru*, Teoria Transmisiunii Informaţiei, Editura Tehnică 1966
[3] *E. T. Jaynes*, Phys. Rev. 106, May issue (1957)
[4] *M. Tribus*, Thermostatics and Thermodinamics, D. Van Nostrand Company, Princeton, New–Jersey, 1965
[5] *N. Mihăilă*, Introducere în Teoria Probabilităţilor şi Statistica Matematică, Editura Didactică şi Pedagogică 1965

ORIGINEA CIMPURILOR MAGNETICE COSMICE

CORNELIU CIUBOTARIU, Institutul Politehnic Iaşi

1. Introducere

În ultimul timp cîmpurile magnetice din universul astrofizic prezintă un interes deosebit pentru studiile teoretice şi observaţionale şi astăzi este general admis că ele au o însemnătate fundamentală pentru o serie întreagă de fenomene.

În adîncurile Pămîntului se produc procese electromagnetice, care crează cîmpul magnetic de 0,5 gauss ($0{,}5.10^{-4}$T) al planetei noastre. Acest cîmp magnetic suferă variaţii sub influenţa curenţilor electrici din ionosferă şi se produc aşa numitele *furtuni magnetice*. Curenţii ionosferici sînt cauza *aurorelor polare*, fenomene care se observă în regiuni determinate din apropierea polilor geometrici. Toate aceste fenomene sînt legate de alte procese electromagnetice care se produc la înălţimi şi mai mari. Cîmpul magnetic al Pămîntului acţionează în limitele unui domeniu de aproximativ zece raze pămînteşti. După cum au arătat măsurătorile efectuate prin cercetări cosmice, în acest domeniu numit uneori *magnetosferă*, există un sistem complex de curenţi cu variaţii rapide. În afară de aceasta, în zone determinate ale magnetosferei (centuri de radiaţii Van Allen) există un flux de particule încărcate, de energie înaltă, care sînt reţinute de cîmpul magnetic.

Condiţiile din ionosfera şi magnetosfera Pămîntului depind de starea electromagnetică a *spaţiului interplanetar*, care la rîndul său este supus influenţei Soarelui. Pe Soare se observă o serie de fenomene electromagnetice care, în ansamblu, poartă denumirea de *activitate solară* (petele solare, protuberanţele, etc.) Pe cea mai mare parte a suprafeţei Soarelui cîmpul magnetic are valoarea de 1—2 gauss, iar pe aşa numitele *domenii active*, de $10—10^3$ gauss. Cîmpurile mai slabe ale Soarelui sînt răspîndite de către vîntul solar în întreg sistemul solar pînă la distanţe de 30 u.a. (1 unitate astronomică = distanţa Pămînt—Soare = $1{,}5.10^{11}$m) şi chiar mai mult. Trebuie să ţinem seama de faptul că atît Pămîntul cît şi Soarele sînt corpuri opace şi deci putem obţine informaţii despre cîmpurile interioare numai din cîmpurile de la suprafeţele lor. Se presupune că cîmpul magnetic al Pămîntului se datoreşte miezului său de metal lichid, iar al Soarelui zonei convective.

Pe baza *efectului Zeeman* (fenomenul de descompunere a unei linii spectrale în cîmp magnetic) s-a dovedit că cele mai multe stele posedă cîmpuri magnetice. Pentru a observa astfel de cîmpuri este necesar ca

cîmpul mediu al emisferei stelare dinspre observator, să fie de cel puțin 100 gauss. Astfel cîmpurile magnetice ale Soarelui ar fi complet neobservabile, dacă distanța Pămînt—Soare nu ne-ar permite studiul unei porțiuni mici a discului solar. Pînă în prezent s-au descoperit peste o sută de stele cu cîmpuri magnetice foarte puternice, acest lucru dovedind universalitatea cîmpurilor magnetice stelare.

Spațiile interstelare din Galaxia noastră conține cîmpuri magnetice (de aproxiamtiv 4.10^{-3} gauss) care în medie sînt orientate paralel cu discul galactic. De asemenea, se presupune că există cîmpuri magnetice de intensitate foarte mică și în *spațiile intergalactice.*

Se pune problema : cum sînt generate și menținute cîmpurile magnetice cosmice amintite mai sus?

Răspunsul la această întrebare își are începutul încă în ipoteza lui Gilbert că Pămîntul este un mare magnet natural.

În 1919 Larmor sugerează ideea că cîmpurile magnetice din petele solare sînt produse de vîrtejurile de gaze din Soare.

La sfîrșitul deceniului al patruela, Alfvén arată că liniile de forță magnetice sînt transportate fizic de un fluid conductor, iar în 1945Elsasser începe un studiu care a introdus conceptele moderne de generare și menținere a cîmpurilor magnetice, datorită mișcărilor din fluidele electric conductoare (*dynamo theory*).

Înainte de a considera mai detaliat aspectele moderne ale acestor idei să ne ocupăm de o problemă mai fundamentală.

Cîmpurile magnetice vaste sînt posibile în Univers numai datorită abundenței generale de sarcini electrice libere și absenței generale a sarcinilor magnetice sau *monopolilor.*

Absența monopolilor magnetice observată în laboratorul terestru a fost considerată ca un fapt straniu timp de mai multe decenii. Se cunoaște de un secol că cîmpurile electrice și magnetice apar simetric în ecuațiile lui Maxwell și atunci se pune problema : de ce sarcinile electrice și magnetice nu apar în mod egal în natură? Un răspuns ar fi că structura electronilor și monopolilor se află în afara domeniului ecuațiilor lui Maxwell, așa încît simetria electric-magnetică a acestor ecuații nu poate să ne conducă la simetria electron-monopol. Însă ideea este interesantă și s-au făcut eforturi pentru a găsi sau a indica o limită superioară a abundenței monopolilor magnetici. Încercările de detecție directă a monopolilor au arătat că monopolii sînt foarte rari, dacă ei există cît de cît, iar limita superioară a abundenței lor nu conduce la o disipație sau o deformare importantă a cîmpurilor magnetice astrofizice.

În analogie cu ipoteza prezentă asupra porțiunilor de antimaterie din univers, fizicianul american Parker postulează că există în univers domenii de monopoli magnetici unde sarcinile electrice lipsesc. Într-un astfel de univers, fiecare efect electric din lumea noastră ar avea efectul său magnetic complementar.

2. Cîmpul magnetic „înghețat" în plasmă.

Tendința generală actuală a astrofizicienilor este de a cerceta originea cîmpurilor magnetice stelare pe baza legilor hidromagnetismului adică a legilor de mișcare ale unui fluid electric conductor, situat într-un cîmp magnetic.

Să considerăm un fluid cosmic (plasmă) care are o conductivitate σ și execută mișcări descrise de cîmpul de viteze $\vec{v}$. Admițînd că sînt în-

deplinite toate condițiile (σ mare, fluidul are dimensiuni mari etc.) pentru posibilitatea interacțiunii dintre fenomenele electrodinamice și hidrodinamice, densitatea de curent electric $\vec{J}$, cîmpul magnetic și cîmpul electric sînt legate prin relațiile :

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \tag{1}$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \tag{2}$$

unde $\vec{B} = \mu \vec{H}$.

O transformare Lorentz ne arată că cîmpul electric $\vec{E}$, în sistemul de coordonate fix al observatorului, este dat de relația :

$$\vec{E} = \vec{E}' - \vec{v} \times \vec{B} \tag{3}$$

unde am presupus $v \ll c$, iar $\vec{E}'$ este cîmpul electric din sistemul care se mișcă odată cu fluidul. Cîmpurile magnetice în cele două sisteme sînt egale pînă la $0(v^2/c^2)$ și nu este necesar să le distingem : $\vec{B} = \vec{B}'$. Deoarece sarcinile libere neutralizează $\vec{E}'$ (cu alte cuvinte în Univers sînt așa de mulți electroni liberi de energie joasă, încît cîmpurile electrice $\vec{E}'$ din fluid sînt foarte slabe) ecuațiile (2) și (3) dau :

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \nabla \times (\vec{v} \times \vec{B}). \tag{4}$$

Dacă fluidul cosmic opune o rezistență la trecerea curentului electric dat de (1), atunci $\vec{E}'$ nu este chiar zero și în (4) mai apare un termen care reprezintă disipația cîmpului magnetic. În cazul simplu cînd curentul electric este legat de $\vec{E}'$ prin forma scalară a legii lui Ohm :

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}',$$

disipația ia forma unui termen de difuzie :

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \nabla (\vec{v} \times \vec{B}) + \nu m \nabla^2 \vec{B} \tag{5}$$

unde cantitatea :

$$\nu_m = \frac{1}{\mu \sigma}$$

se numește *vîsoozitate magnetică*.
Dacă notăm cu L o lungime caracteristică a fluidului în mișcare, atunci raportul termenului de disipație $\nu_m \nabla^2 \vec{B}$ la termenul $\nabla \times (\vec{v} \times \vec{B})$ este dat de cantitatea adimensională :

$$\frac{Lv}{\nu_m} = R_m \tag{6}$$

numită numărul *Reynolds magnetic*. Analogia cu numărul *Reynolds hidrodinamic* convenţional este evidentă: acesta din urmă este definit ca $R = Lv/\nu$, unde ν este vîscozitatea cinetică.

Pentru dimensiuni liniare mari R_m este mare. De exemplu pentru nucleul Pămîntului unde $\sigma = 10^5$ siemens, $L = 3.10^6$ m şi $v = 3.10^{-4}$ m/sec, (aşa cum rezultă din variaţia geomagnetică seculară) obţinem $R_m = 100$. În aplicaţiile astrofizice R_m este de ordinul $10^4 - 10^6$ şi în ecuaţia (5) putem neglija termenul al doilea din membrul drept aşa încît putem scrie (4). Din (4) se pot deduce următoarele două teoreme:

I) Fluxul magnetic prin orice contur închis, care se mişcă împreună cu fluidul conductor ideal, este constant (liniile cîmpului magnetic sînt „îngheţate" în fluid).

II) Într-un conductor ideal, toate particulele de fluid, care iniţial se aflau pe o linie de forţă magnetică, continuă să rămînă pe aceasta din urmă.

Aceste teoreme exprimă faptul că viteza locală de variaţie a inducţiei $\vec{B}$ este rezultatul *convecţiei*, adică a transportului cîmpului magnetic de către fluidul conductor.

Bazîndu-ne pe aceste rezultate simple, putem să presupunem că cîmpurile magnetice prezente în Univers reprezintă cîmpurile primordiale, probabil considerabil deformate de mişcarea fluidelor cosmice. Formarea galaxiilor din gazele primordiale ca şi formarea stelelor individuale din gazul interstelar din interiorul galaxiilor, este în mare măsură un proces de condensare şi compresie, care ar avea efectul unei creşteri enorme a intensităţilor cîmpurilor magnetice cuprinse în gaz. Invers, cîmpul magnetic concentrat într-un astru poate fi din nou răspîndit în spaţiul interstelar. Iată un exemplu. Observatorul solar orbital american „O.S.O. —7" a urmărit recent o puternică erupţie produsă în Soare, pe partea opusă Pămîntului. Norii de plasmă care s-au desprins din Soare aveau volume de 20—40 de ori mai mari decît cel al Pămîntului şi au fost proiectaţi în Cosmos la distanţe ce depăşesc 6 milioane kilometri. Odată cu ei a fost proiectat în Univers şi o parte din cîmpul magnetic al Soarelui.

Cele afirmate pînă acum cu privire la concentrarea cîmpurilor magnetice în Univers sînt valabile pentru obiecte de dimensiuni şi conductibilităţi electrice foarte mari, cînd timpul caracteristic de disipaţie a cîmpului întrece cu mult vîrsta obiectelor respective .

Pămîntul este atît de mic încît timpul de amortizare a cîmpului geometric este de numai 4.10^4 ani şi deci orice cîmpuri primordiale ar fi dispărut de mult.

Din magnetismul folosit se cunoaşte că dipolul pămîntesc şi-a inversat polaritatea de mai multe ori la intervale neregulate (de ordinul a un milion de ani) şi chiar în timpul unei anumite polarităţi intensitatea sa prezintă fluctuaţii.

Se petrece ceva în Pămînt astăzi; ceva care este responsabil de cîmpul geomagnetic al timpurilor noastre. Timpul caracteristic de generare este în jur de 10^4 ani, aşa încît cîmpul de astăzi este independent de ceea ce s-a întîmplat în urmă cu 10^3 ani[4].

Cîmpul solar este un alt exemplu de generare magnetică activă actuală, unde toate urmele cîmpurilor mai vechi de 100 de ani sînt şterse, iar inversările au loc la fiecare 11 ani.

Din aceste două exemple este evident că menţinerea cîmpurilor magnetice în planete şi stele, dacă nu în spaţiul interstelar, este un proces

activ în care toate urmele cîmpurilor primordiale au fost de mult anulate. Termenul $\nabla \times (\vec{v} \times \vec{B})$ din ecuaţia (5) joacă un rol dominant şi nu poate fi neglijat. Aceste procese active responsabile de rapida creare şi distrugere a cîmpurilor magnetice sînt de un interes central pentru înţelegerea cîmpurilor observate.

3. Turbulenţa

Foarte multe dintre mişcările fluidelor din spaţiul interstelar, din fotosfera stelară, din zonele convective ale astrelor etc., apar haotice sau turbulente. În fluidele de dimensiuni mari nu numai R_m este mare ci şi *numărul Reynolds convenţional.*

În hidrodinamica obişnuită rotorul vitezei, $\vec{w} = \nabla \times \vec{v}$, satisface următoarele ecuaţii :

$$\frac{\partial \vec{w}}{\partial t} = \nabla \times (\vec{v} \times \vec{w}) + \nu \nabla^2 \vec{w}, \tag{7}$$

$$\text{din } \vec{w} = 0, \tag{8}$$

adică aceleaşi pe care le satisface cîmpul magnetic (v.ec. (5)). Ori, se ştie că turbulenţa are ca efect întinderea liniilor de forţă ale vectorului $\vec{w}$, adică intensitatea vectorului $\vec{w}$ creşte ; putem conchide că acelaşi lucru se va întîmpla cu liniile de forţă ale vectorului $\vec{B}$.

Putem raţiona, deci, în următorul mod calitativ ; fluidul fiind considerat suficient de conductor, liniile de forţă magnetice vor fi antrenate în mişcarea fluidului cu conservarea fluxului lui $\vec{B}$. Dacă viteza este perpendiculară la liniile de forţă şi variază rapid pe o distanţă mică vom avea de-a face cu cazul reprezentat în fig. 1, care arată că se crează o componentă a lui $\vec{B}$ paralelă cu direcţia vitezei. Densitatea energiei magnetice $\frac{B^2}{2\mu}$ va creşte în domeniul unde liniile de forţă au fost deformate. Cum o astfel de creştere nu poate avea loc decît pe seama densităţii de energie cinetică

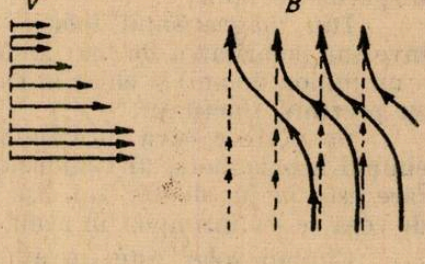


Fig. 1 Deformarea liniilor de forţă magnetice într-un domeniu unde viteza variază.

a fluidului, este natural să considerăm că mişcările turbulente au ca prim efect amplificarea cîmpului magnetic pe seama energiei mecanice.

Această amplificare a cîmpului nu poate avea loc la infinit ; cel mai adesea se admite că transferul de energie fluid-cîmp magnetic se efec-

tuează pînă se realizează o echipartiţie între energia cinetică şi energia magnetică, adică pînă cînd :

$$\frac{1}{2}\rho v^2 = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu} \tag{9}$$

Dacă este aşa, atunci din observaţiile asupra intensităţii cîmpului magnetic dintr-un univers staţionar, putem obţine informaţii despre energia cinetică a fluidului cosmic.

Ca o regulă generală, amplificarea corespunde unei întinderi a liniilor de cîmp magnetic. Modurile de a face astfel de întinderi într-un domeniu bidimensional sînt indicate în figurile 2,3. Deformarea din figura 2 corespunde unor mişcări alternative de translaţie, iar cea din figura 3 corespunde unei rotaţii. Neajunsurile acestor scheme sînt evidente. Există întotdeauna cîmpuri de vectori de sensuri opuse, apropiaţi unul de altul; în felul acesta chiar un termen mic de difuzie va fi suficient pentru a anula cea mai mare parte din cîmp.

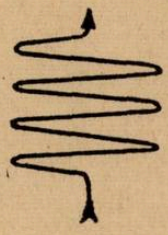


Fig. 2. Deformarea liniară alternativă

Fig. 3 Deformarea circulară

Pînă în prezent nu s-au obţinut scheme de amplificare în domenii finite bidimensionale, care să nu fie afectate de această dificultate. Din considerentele făcute pînă acum s-a dovedit că nu reuşim să înţelegem efectele magnetice ale mişcării turbulente dezordonate. Rămîne să mai considerăm mişcările ordonate.

4. Dinamul hidromagnetic

Încă din anul 1919, Larmor a presupus că cîmpurile magnetice ale Soarelui şi ale altor corpuri cereşti pot exista ca rezultat al acţiunii unui dinam în care materia stelară conductoare acţionează ca rotorul şi statorul unui dinam autoexcitat.

Astăzi prin *dinam hidromagnetic* (dynamo) se înţelege orice sistem care menţine cîmpuri magnetice datorită mişcărilor ordonate din fluidele electric conductoare.

Variaţia intensităţii cîmpurilor în prezenţa disipaţiei este exprimată prin ecuaţia (5). Problema se pune astfel : poate exista un cîmp de viteze, care depinde de coordonate şi timp, încît soluţia ecuaţiei (5) (adică inducţia $\vec{B}$) să crească sau, cel puţin, să nu scadă în decursul unui interval de timp suficient de mare? Un caz particular al problemei poate fi menţinerea prin mişcare a unui cîmp staţionar. O soluţie generală, practic, este imposibil de găsit şi din acest motiv se consideră modele simple sau se folosesc consideraţii calitative.

În 1934 Cowling a demonstrat că orice efect de dynamo este imposibil într-o masă sferică în care vectorii viteză rămîn situaţi în planele meridiane şi prezintă o simetrie de revoluţie. În adevăr, să considerăm o mişcare a fluidului limitată la planele meridioanle ale unei sfere. Cîmpul magnetic este de asemenea limitat la aceste plane şi deci rămîne astfel limitat sub acţiunea inductivă a mişcării fluidului. Deoarece orice linie de forţă care pleacă de la suprafaţa sferică se întoarce la ea (v.fig. 4), acest lucru fiind adevărat atît pentru exteriorul cît şi pentru interiorul fluidului, rezultă că există un „punct neutru", unde $\vec{B} = 0$, în fiecare semiplan meridional.

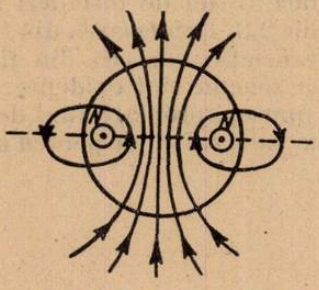


Fig. 4. — Cîmpul dipolar al unei sfere

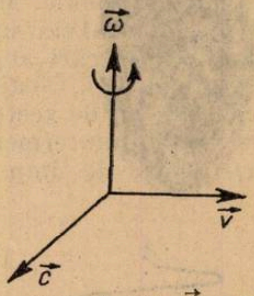


Fig. 5 — Forţa Coriolis : $\vec{C} = 2m\,\vec{v} X \vec{\omega}$

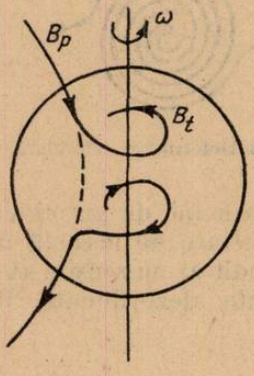


Fig. 6 — Formarea cîmpului toroidal din cîmpul poloidal prin rotaţie neuniformă.

Din ecuaţia (5), pentru cazul staţionar $\left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0\right)$, se poate arăta că un astfel de cîmp conduce la o contradicţie şi în felul acesta se demonstrează teorema lui Cowling.

Astăzi se admite că teorema lui Cowling este susceptibilă de generalizări şi că nici o mişcare în care traiectoriile nu sînt curbe strîmbe, nu este capabilă să întreţină un cîmp magnetic. Prin urmare diferitele tipuri de mişcări ordonate, care posedă o simetrie înaltă nu pot amplifica şi menţine un cîmp magnetic, deoarece aceste mişcări pot fi reduse la cele bidimensionale. Să considerăm, de exemplu, o stea care posedă un cîmp de tipul unui dipol (cîmp poloidal, fig. 4), cu axa coincizînd cu axa de rotaţie . Dacă steaua se roteşte ca un corp rigid atunci nu vor avea loc nici un fel de modificări ale cîmpului (cîmpul este rigid odată cu fluidul). Însă, dacă în interiorul stelei există o convecţie radială, atunci masele care se ridică sub acţiunea forţei Coriolis îşi încetinesc viteza unghiulară, iar masele care coboară şi-o măresc (v. fig. 5)

Din aceste motiv, spre centru viteza unghiulară este mai mare. Acest lucru conduce la faptul că liniile de forţă care trec prin nucleul care se roteşte rapid se răsucesc ca în fig. 6 aşa încît ele pot fi descompuse în liniile cîmpului poloidal şi în linii de inducţie sub forma unor cercuri cu centrele pe axă (cîmp toroidal). Prin urmare, în afară de cîmpul poloidal apare un cîmp mărit sub forma unui tor.

Evident, creşterea energiei magnetice se face pe seama energiei cinetice a fluidului. Calculele arată că intensitatea inducţiei de-a lungul liniilor toroidale variază după o lege de forma $t\,e^{-\alpha t}$, adică ea începe să crească şi apoi să descrească exponenţial. Pentru ca procesul să nu se amortizeze este necesar să fie menţinut cîmpul poloidal. Aceasta din urmă are o însemnătate deosebită deoarece în stele se observă în general cîmpuri polodidale. Cîmpul toroidal, chiar dacă există, nu iese la suprafaţă în condiţiile obişnuite, deşi el poate conduce la apariţia de cîmpuri locale de tipul cîmpurilor petelor solare, dispuse pe benzi paralele cu ecuatorul. Pentru amplificarea cîmpului poloidal sînt necesare mişcări asimetrice. Astfel de mişcări apar la rotaţia stelelor în prezenţa convecţiei radiale care trebuie să aibă loc în condiţii determinate. O astfel de convecţie constă din fluxuri ascendente şi descendente a căror viteză şi secţiune pot să nu fie identice. În fluxul ascendent fluidul va curge către bază şi se va revărsa în sus (fig. 7) (ca în ciclon unde avem un minim de presiune).

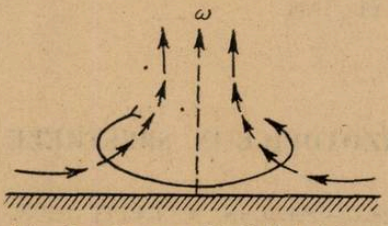


Fig. 7 — Crearea circulaţiei ciclonice prin convergenţa fluidului într-un plan normal la axa de rotaţie (model bidimensional)

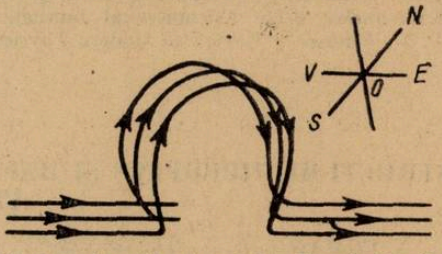


Fig. 8 — Apariţia cîmpului în direcţie N—S.

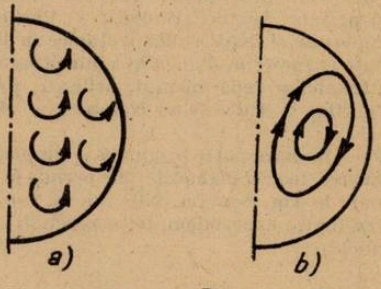


Fig. 9 — Formarea liniilor poloidale

Forţele Coriolis care acţionează asupra fluidului care se mişcă pe orizontală vor produce vîrtejuri ca în cicloanele obişnuite. Prin urmare, fluidul care se ridică nu numai că ridică şi liniile de forţă ale cîmpului toroidal dar le şi răsuceşte spre un plan meridian, creînd componente în direcţie Nord—Sud.

Prin urmare apar bucle de cîmp magnetic, care în general amplifică cîmpul dipolar iniţial (fig. 8).

Mai departe aceste bucle se pot separa ca urmare a disipației cîmpului la baza lor, așa încît să formeze noi linii de forță închise. (Fig. 9a).

Ca urmare a conductibilității finite liniile de forță pot difuza încet prin fluid, ceea ce conduce la unirea lor în linii de forță poloidale mari. (fig. 9 b.) Aceste linii vor amplifica cîmpul inițial în cazul cînd ele au același sens. Fluidul din fluxurile descendente (anticiclonice) crează bucle de cîmp magnetic care au o direcție inversă celei necesare amplificării cîmpului. Putem considera însă că fluxurile anticiclonice prezintă o influență mai mică decît cele ciclonice. În adevăr, buclele descendente se află la adîncimi mai mari decît cele ascendente și ca urmare ele se vor amortiza pînă cînd reușesc să difuzeze în parte exterioară a nucleului unde se crează cîmpul magnetic toroidal de bază. Transformările reciproce ale cîmpurilor poloidale și toroidale conduc la menținerea unui cîmp magnetic la un nivel constant, ceea ce ar explica cîmpurile magnetice staționare ale stelelor. Pentru a înțelege cîmpurile magnetice variabile și inversările polilor magnetici ale Pămîntului, Soarelui și stelelor magnetice variabile s-au propus și alte tipuri de dynamouri care stau în atenția cercetărilor din zilele noastre.

BIBLIOGRAFIE

N. *N. Calinicenco* — Revista de fizică și chimie (B), pag. 81, 1967,
E.N. Parker — The Astrophysical Journal, vol. 160, p. 383, 1970,
W. M. Elsasser — Review of Modern Physics, vol. 28, p. 135, 1956.

STRUCTURI HIPERFINE ȘI DEPLASĂRI IZOTOPICE IN SPECTRELE ATOMICE

N. COMANICIU, V. DRĂGĂNESCU, N. J. IONESCU—PALLAS, V. TATU, I.F.A. București.

Rezumat

„În lucrare sînt trecute în revistă principalele rezultate obținute în Laboratorul „Metode optice în fizica nucleară" — în prezent Secția „Radiații și Plasmă" — din I.F.A., în cadrul cercetărilor asupra structurii hiperfine și deplasărilor izotopice în liniile spectrale. Sînt expuse o serie de rezultate experimentale obținute în domeniul amintit, scoțîndu-se în evidență contribuțiile aduse la perfecționarea tehnicilor experimentale utilizate, precum și elementele de bază ale noii teorii a structurilor hiperfine și deplasărilor izotopice, — elaborată în cadrul laboratorului.

Utilizarea unei aparaturi — în mare parte originală — cu performanțe la nivelul cercetărilor mondiale avansate, și aplicarea teoriei elaborate, au permis-printre altele — determinarea unor proprietăți nucleare globale la Hg, Na, Ba, Nd, Sn, ca : factori de interval, momente magnetice nucleare, constante izotopice experimentale, cuadrupoli nucleari intrinseci, parametri de deformare nucleară, raze nucleare".

Introducere

Structura hiperfină, caracteristică pentru numeroase linii ale spectrelor atomice, reflectă interacția dintre nucleul atomic și învelișul electronic al atomului. Se disting două tipuri de structură hiperfină (s.h.f.) : s.h.f. magnetică și structura de deplasare izotopică. Primul tip este condiționat de interacția magnetică dintre momentul magnetic nuclear și electroni, al doilea — de deplasarea reciprocă a nivelelor de energie ale izotopilor unui element dat. S.h.f. magnetică este caracteristictică numai pentru

izotopi impari. De obicei, se observă o combinaţie a celor două tipuri de s.h.f. într-o singură linie spectrală.

Deplasarea izotopică observată este rezultanta a două efecte principale, efectul de masă şi efectul de cîmp (sau de volum). Efectul de masă la atomii hidrogenoizi se calculează simplu, prin considerarea masei reduse a electronului, fiind denumit efect de masă normal. La atomii cu mai mult de un electron de valenţă, este necesar să se ia în consideraţie şi efectul de masă specific, determinat de natura cuplajului dintre electroni. Efectele de masă descresc cu creşterea numărului de masă, astfel încît la elementele grele deplasările observate pot fi puse numai pe seama efectului de volum. Acesta este condiţionat de abaterea, faţă de cîmpul coulombian pur — corespunzător unei sarcini punctuale—, a cîmpului din interiorul volumului nuclear.

Studierea structurii liniilor spectrale prin intermediul tehnicilor experimentale ale spectroscopiei interferenţiale, permite obţinerea de informaţii utile asupra proprietăţilor globale ale nucleului atomic, fapt important pentru fizica nucleară teoretică. Astfel, din s.h.f. magnetică se pot determina momentele nucleare de spin, magnetice şi cuadrupolare; din structura de deplasare izotopică se pot determina parametri de structură ai nucleului (raza medie pătratică a distribuţiei de protoni, parametrul de deformare intrinsecă α, parametrul de compresibilitate şi cuadrupolii nucleari intrinseci).

În cadrul laboratorului de „Metode optice în fizica nucleară", — devenit în ultimul timp Secţia „Radiaţii şi Plasmă" — din I.F.A., s-a desfăşurat — începînd din 1956 — o vastă activitate în domeniul studierii structurii liniilor spectrale, obţinîndu-se o serie de rezultate bine apreciate în cercurile specialiştilor, atît în privinţa metodicii experimentale, cît şi în privinţa interpretării teoretice rezultatelor experimentale, ca şi a contribuţiilor esenţiale aduse la dezvoltarea teoriei s.h.f. magnetice şi a deplasărilor izotopice. Pentru efectuarea experienţelor s-a utilizat un aparataj modern, cu înaltă putere de rezoluţie, construit în întregime în I.F.A. [1].

În cele ce urmează vom trece în revistă principalele rezultate obţinute de noi în domeniul amintit.

PARTEA TEORETICĂ

A. *Structura hiperfină magnetică.*

Separarea hiperfină pentru un atom cu un electron de valenţă este dată de expresia generală — dedusă din teoria lui Dirac, [2]:

$$Es.h.f. = g_I \mu_0 \left(\frac{m_e}{M_p}\right) 8\pi q(j-l) \frac{j+\frac{1}{2}}{j(j+1)} [f(j+1)-I(I+1)-j(j+1)]\times$$

$$\int_0^\infty F(r)\, G(r)\, dr. \qquad (1)$$

Determinarea momentelor magnetice din măsurători de s.h.f. necesită evaluarea cît mai precis posibil a integralei (1). Pentru electroni $s_{1/2}$, care interesează în cazul nostru, integrala (1) este proporţională cu produsul a trei factori: 1. patratul funcţiei de undă (electronice) ne-relativiste la

centrul nucleului, $\psi_s^2(0)$; 2. factorul de corecție relativistă, $\chi(1/_2, Z_i)$; 3. factorul de structură nucleară, $Y(s_{1/2})$.

Plecînd de la analiza amănunțită a modului în care se calculează factorii amintiți, a ipotezelor nu totdeauna conforme cu realitatea, N.J. Ionescu—Pallas ameliorează substanțial teoria s.h.f. Astfel, pentru $\psi_s^2(0)$ au fost deduse expresii îmbunătățite, folosindu-se valorile termenilor spectrali cu precizie, și calculul prin diferențe finite-atunci cînd se dispunea de o serie spectrală bogată în termeni. Factorul de corecție relativist $\chi(j,Z_i)$, al lui Racah, tabelat de H. Kopfermann [3], era calculat în aproximația $n = \infty$, corespunzător funcției de undă a stării de ionizare. Pentru electronii de valență ai elementelor studiate de noi, n este de ordinul 3—7, și convergența seriilor, cînd $n \to \infty$, nu este prea rapidă. N.J. Ionescu—Pallas efectuează calculul exact, pentru valoarea finită a lui n, [2], ținînd seama și de ecranarea electronului de valență de către electronii din păturile atomice interioare. Factorul de structură nucleară $Y(s_{1/2})$, considerat ca fiind compus din două corecții (de extensie finită a nucleului, $1 - \delta$, și de distribuție a magnetismului nuclear în volumul nucleului, $1 - \varepsilon$), a fost recalculat de Ionescu—Pallas, [4], și tabelat în funcție de Z. S-a obținut o singură corecție, care înglobează pe cele două amintite, și care ține seama și de prezența curenților nucleari.

În studiile teoretice astfel efectuate s-a realizat o aproximație excelentă pentru toți cei trei factori, astfel încît momentele magnetice nucleare determinate prin metodele optice au devenit comparabile cu cele obținute prin alte metode.

Ulterior, din analiza aplicării formulei Fermi—Segré la s.h.f., s-a văzut că există o abatere sistematică a valorilor momentelor magnetice nucleare obținute din s.h.f. (μ_R), față de acelea obținute prin inducție nucleară (μ_0), diferența rezultatelor date de cele două metode fiind o funcție de Z. Din sistematica datelor experimentale furnizate de literatura de specialitate, s-a determinat funcția $\eta(Z) = (\mu_R - \mu_0)/\mu_R$, fig. 1. Considerarea și a corecției $\mu_R(z)$ a permis obținerea de valori pentru momentele magnetice din s.h.f., valori care nu se abat cu mai mult de 1% față de valorile obținute prin inducție magnetică; s-au obținut astfel valori ale momentelor magnetice pentru Hg, Na, Ba, [5—9].

În acest mod, utilizînd perfecționările aduse la teoria s.h.f. de către N.J. Ionescu—Pallas, determinările de momente magnetice nucleare prin metoda optică a s.h.f. devin de mare actualitate și interes.

B. Deplasări izotopice

Teoria deplasărilor izotopice la atomi grei a fost reconsiderată în întregime de către N.J. Ionescu—Pallas [10], [11]. El a obținut o ecuație integrală originală, după ce a demonstrat că metoda obișnuită a perturbațiilor este inaplicabilă. Meritul noii teorii crește și prin aceea că ea este aplicabilă și la nucleele puternic deformate, permițînd obținerea în întregime a variației izotopice relative a razei nucleare. Demonstrîndu-se că o serie de efecte (efectul Johnson—Teller, efectul de ecranare a electronului de valență de către electronii din păturile interioare) sînt practic inobservabile în fenomenul deplasării izotopice, teoria cîștigă în simplitate și aplicabilitate la interpretarea rezultatelor experimentale.

Informațiile asupra nucleului atomic, care pot fi obținute plecînd de la studiul deplasărilor izotopice, sînt conținute în constanta izotopică

experimentală, definită de H. Kopfermann, [3]. Această constantă trebuie să fie comparată cu expresia teoretică dedusă de N. J. Ionescu—Pallas :

$$C_{izo}^{teor} \approx 8R_{\infty} \frac{\rho^2}{\Gamma^2(1+2\rho)} \cdot \frac{1-(1+\rho)\xi}{1-(1-\rho)\xi} \cdot \left(\frac{2ZR}{a_H}\right)^{2\rho} \cdot \frac{\delta R}{R};$$

$$R = \sqrt{\frac{5}{3}}(r^{-2})^{1/2}, \tag{1}$$

unde : $\rho = \sqrt{1-(Z/137)^2}$, ξ este o funcţie universală de raportul $Z/137$, avînd o valoare apropiată de 2/5, iar R este raza medie patratică a distribuţiei de protoni. Formula (1) este valabilă atît pentru nuclee sferice, cît şi pentru nuclee deformate. Ea permite obţinerea pe cale experimentală a variaţiei izotopice a razei nucleare, mărime foarte importantă în studiul modelelor de structură nucleară. Întrucît variaţia izotopică a razei nucleare depinde puternic de structura nucleară, este de aşteptat ca aplicarea modelului simplu, al picăturii elipsoidale, să nu conducă la rezultate conforme cu experienţa. Pe de altă parte, ţinînd seama de faptul că efectul de deplasare reflectă proprietăţile globale ale nucleelor în starea fundamentală, s-a considerat oportună alegerea unui model statistic, însoţită însă de o reformulare riguroasă, bazată pe noi ipoteze, şi anume : 1. independenţa formei distribuţiei de nucleoni în raport cu excesul relativ al neutronilor faţă de protoni ; 2. invarianţa părţii ne-Coulombiene a energiei de legătură la interschimbarea numărului de protoni şi neutroni ; 3. grosimea regiunii de suprafaţă a nucleelor grele este o constantă universală ; 4. densităţile de neutroni şi protoni sînt într-un raport constant în tot volumul nuclear. În aceste ipoteze, a rezultat distribuţia următoare de nucleoni :

$$\rho(r) = \rho(0)\left(\frac{1+e^{-k\frac{R_0}{a}}}{1+e^{k\frac{r-R_0}{a}}}\right)^{\frac{1}{k}} \tag{2}$$

unde $k = 0{,}738$, $a = 0{,}462 \times 10^{-13}$ cm, $\rho(0) = \left(\frac{4}{3}\pi p^3\right)^{-1}$,

$p = 1{,}121 \times 10^{-13}$ cm. O ilustrare a măsurii în care rezultatele acestui model concordă cu datele experimentale pentru nuclee grele, este dată în figura 2, unde este prezentată distribuţia de nucleoni în Pb dublu magic, calculată cu ajutorul formulei (2), în comparaţie cu distribuţiile experimentale obţinute din date de difuzie Coulombiană.

Distribuţia (2) a fost generalizată şi pentru cazul deformărilor nucleare, prin introducerea ipotezei potrivit căreia raza de inflexiune descrie un elipsoid cu simetrie axială. În aceste condiţii au fost obţinute formulele :

$$\frac{R}{pA^{1/3}} = \left\{ \frac{1}{1+\frac{3}{7}\xi}(1-\varepsilon^2)^{-2/3}\left(1-\frac{2}{3}\varepsilon^2\right) + \frac{10}{7}\xi \frac{1+\frac{3}{10}\xi}{1+\frac{3}{7}\xi} \frac{\varepsilon}{\arcsin\varepsilon} (1-\varepsilon^2)^{-1/6} \right\}^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

$$\frac{\delta R}{R} \approx \frac{\delta A}{3A}\left\{\frac{A^{2/3}-2}{A^{2/3}+2} - \frac{5}{2}\cdot 10^{-2}\left(1 - \frac{Z}{A^{1/3}}\cdot 10^{-2}\right)\frac{Z^2}{A^{4/3}} + \right.$$
$$\left. + \frac{3}{2}A\left(\frac{\partial \alpha^2}{\partial N}\right)_Z \frac{A^{2/3}-5}{A^{2/3}+2}\right\} \qquad (4)$$

unde prin $\alpha = \frac{1}{3}\varepsilon^2$, s-a notat parametrul de deformare, iar $\xi = \frac{q^2}{p^2}A^{-2/3}$, $q = 2{,}049 \times 10^{-13}$cm, $p = 1.140 \times 10^{-13}$ cm. Termenul proporţional cu Z^2 provine din considerarea corecţiilor de compresibilitate nucleară. În formula (4) s-a presupus, pentru coeficientul de compresibilitate, valoarea $K = 170$ MeV/nucleon, care rezultă atît din teoria lui Bruckner asupra materiei nucleare, cît şi din modelul statistic adoptat de Ionescu—Pallas.

Teoria elaborată în acest mod a fost aplicată la determinarea deformărilor nucleare din date asupra deplasărilor izotopice, pentru elemente cuprinse între numerele magice de neutroni, 82 şi 126. Rezultatele obţinute sînt în bun acord cu cele obţinute din experienţele de excitaţie Coulombiană şi asupra timpilor de viaţă pentru radiaţia gamma (Fig. 3), ceea ce confirmă valabilitatea ipotezelor de la care s-a plecat. De asemenea, teoria elaborată a fost aplicată cu succes şi la studiul nivelelor energetice ale mezoatomilor (electronul înlocuit cu un mezon π sau μ). În acest caz efectele nucleare se manifestă puternic, iar dificultăţile legate de complexitatae structurii electronice a atomului sînt înlăturate [12].

PARTEA EXPERIMENTALĂ

A. *Dispozitivul experimental*

În principiu, dispozitivul experimental destinat cercetărilor de structură hiperfină se compune din: 1. sursele de lumină; 2. aparatul spectral cu mare putere de rezoluţie; 3. dispozitivul de înregistrare.

1. *Sursele de lumină.* Sursele de lumină utilizate în spectroscopia interferenţială diferă de cele folosite curent în spectroscopie, prin aceea că ele trebuie să emită linii spectrale cît mai înguste, cu o intensitate cît mai mare, şi să aibe o funcţionare cît mai stabilă. Pentru realizarea acestor cerinţe — uneori contradictorii — s-au construit surse speciale, cum ar fi: lampa cu catod scobit, de tip Schüler, [13], [14], lampa cu fascicul atomic [15], [16] şi lămpi fără electrozi interiori, excitate în înaltă frecvenţă [17], [18]; performanţele atinse cu aceste surse au fost pe deplin satisfăcătoare.

Astfel, în cazul lămpilor cu catod scobit, lărgimea liniilor emise este de 30—35 mK la un curent de descărcare de $\sim$ 50 mA. Catodul funcţiona mai bine de 100 de ore, cu o încărcătură de 10 mg substanţă, fără să se observe o slăbire apreciabilă a intensităţii liniilor spectrale ale elementului studiat. Prin alegerea corespunzătoare a geometriei lămpii şi a condiţiilor de funcţionare lampa funcţionează cu o stabilitate remarcabilă, iar efectele de autoabsorbţie şi autoinversiune a liniilor spectrale sînt practic absente.

În lampa cu fascicul atomic se obţin linii a căror lărgime corespunde unei lărgimi Doppler la temperatura de $\sim 1 - 2$°K. Fasciculul atomice se formează la o presiune de 10^{-6} mm col. Hg, lărgimea liniilor spectrale în fascicul fiind de 20 pînă la 300 de ori mai mică decît în condiţiile exi-

stente în evaporator, ceea ce corespunde unui factor de colimare — principala caracteristică a acestor surse — de 0,12 pînă la 0,008.

Liniile emise de lămpile fără electrozi, foarte fine prin însuşi mecanismul descărcării, pot fi îngustate şi mai mult prin răcirea convenabilă a tubului de descărcare (cu un curent de aer, apă sau chiar cu azot lichid, în cazul gazelor [19]). Singura limitare a utilizării acestei surse este condiţionată de faptul că ea poate fi folosită numai în cazul gazelor sau al substanţelor uşor volatile.

2. *Aparatul spectral cu mare putere de rezoluţie.* Etalonul Fabry—Pérot s-a impus prin simplitatea sa şi mai ales prin performanţele sale, care cu greu pot fi atinse de alte dispozitive cu mare putere de rezoluţie.

Noi am construit numeroase variante de etaloane corespunzător cerinţelor cercetării, aducînd o serie de îmbunătăţiri atît în construcţia mecanică, cît şi în construcţia optică. Astfel s-au realizat etaloane cu barocameră, reglabile sub vid [20], [1]; a fost eliminată influenţa imaginilor de interferenţă parazite, prin proiectarea şi construirea lamei posterioare a etalonului sub formă de pană; distanţorii au fost confecţionaţi din baghete de cuarţ — mai ieftine şi mai uşor de realizat, [21], [22]. Straturile reflectante sînt depuse pe lamele etalonului prin evaporare în vid, într-o instalaţie care permite controlul electronic automat al grosimii straturilor depuse de Ag, Al sau de dielectrici.

3. *Dispozitivul de înregistrare.* În ultimii ani, pe lîngă placa fotografică, se foloseşte în cadrul sistemului de detecţie şi înregistrare a semnalelor luminoase — fotomultiplicatorul. Noi am construit două spectrofotometre înregistratoare cu etalon Fabry—Pérot şi cu fotomultiplicator [21], [22]. La spectrofotometrul de acest tip, atît frecvenţele, cît şi intensităţile componentelor liniilor spectrale, sînt înregistrate într-o scară liniară. Performanţele lui sînt la nivelul celor mai bune aparate de acest gen din lume. Astfel, se pot înregistra componente între care există diferenţe în intensitate de ordinul sutelor.

Reproductibilitatea în frecvenţe, adică precizia de măsură a aparatului, este cuprinsă între 0,2 şi 0,4%, în funcţie de viteza de baleiaj a figurii de interferenţă care se realizează prin variaţia controlată a presiunii aerului din incinta în care se află etalonul ([1].

B. Măsurători de structuri hiperfine şi deplasări izotopice .

Performanţele ridicate ale aparaturii construite, trecerea la utilizarea de probe izotopice puternic îmbogăţite, precum şi efectuarea de măsurători cu precizie sporită, ne-au permis determinarea precisă a unor s.h.f. şi deplasări izotopice.

Calităţile aparaturii interferenţiale originale au fost probate iniţial în cadrul efectuării de măsurători asupra structurii unora dintre liniile spectrale ale Hg.

Structura hiperfină şi izotopică la Hg s-a determinat folosind amestecul natural de izotopi, excitat în lampa cu catod scobit şi izotopul 198 separat, în lampa monoizotopică excitată în înaltă frecvenţă. Rezultatele obţinute pentru linia λ —5461 Å sînt date în tabelul I, [5], [6]. Structura acestei linii, cunoscută ca fiind cea mai complexă, a fost rezolvată de noi în întregime.

Factorul de interval al izotopului Hg ^{199} s-a găsit a avea valoarea $A(^3S_1) = 0{,}7166\ \text{cm}^{-1}$.

Tot la Hg, s-au măsurat deplasările izotopice în linia de rezonanţă λ — 2537 Å obţinîndu-se valorile trecute în Tabelul II, [23].

Structura liniei HgI λ 5461Å

Tabel I

Izotop	Tranziție	Simbol	Intensitate	Structura [cm^{-1}]
201	5/2—3/2	a	0,13	—0,726
201	5/2—5/2	b	0,19	—0,436
199	1/2—3/2	A	5,68	—0,287
201	3/2—1/2	d	0,22	—0,240
201	3/2—3/2	e	1,40	—0,057
201	5/2—7/2	c	5,27	—0,057
198	Fină J	I	10,12	—0,028
200	Fină J	II	23,25	0,000
202	Fină J	III	29,54	0,031
199	3/2—5/2	B	10,23	0,031
204	Fină J	IV	6,72	0,060
201	1/2—1/2	g	1,09	0,157
201	3/2—5/2	f	2,76	0,226
201	1/2—3/2	h	1,09	0,337
199	3/2—3/2	C	1,14	0,787

Deplasări izotopice în linia HgI λ 2537 Å

Tabel II

Izotop	204	199 A	201 a	202	200	201b	198	199B	201 c
$\Delta\tilde{\nu}$ (cm^{-1})	—0,346	—0,346	—0,346	—0,178	0,000	0,160	0,160	0,382	0,382

Măsurarea s.h.f. a liniilor D_1 și D_2 ale Na^{23}, prin metoda absorbției în fascicul atomic [16], folosind înregistrarea fotografică, a condus la determinarea valorii experimentale a factorului de interval A ($^2S^1/_2$) cu o precizie foarte bună—Tabelul III.

S.h.f. la Na^{23}

Tabel III

λ	$\Delta\tilde{\nu}$ (cm^{-1})	A ($^2S_{1/2}$) (cm^{-1})
D_1	0,0610	0,029648
D_2	0,0576	

Folosind metoda de studiu cu izotopi îmbogăţiţi, excitaţi în lampa cu catod scobit, pentru cantităţi mici de substanţă, [14], s-a măsurat cu ajutorul spectrofotometrului înregistrator, [1], structura hiperfină la izotopii Ba^{135} şi Ba^{137}. Valorile despicărilor h.f. şi ale factorilor de interval experimentali sînt date în Tabelul IV, [8], [9]. Prin acelaşi procedeu,

S.h.f. la Ba^{135} şi Ba^{137}

Tabel IV

Izotop	λ (Å)	Δ √(cm^{-1})	A($^2S_{1/2}$)	A($^2P_{1/2}$)
135	4934	0 ; 0,0405 ; 0,2450 ; 0,2855	0,1226	0,0202
	4554	0 ; 0,2285		
137	4934	0 ; 0,0475 ; 0,2705 ; 0,3180	0,1352	0,0237
	4554	0 ; 0,2584		

s-au măsurat deplasările izotopice în liniile Ba I λ 4934 Å şi λ 4554 Å, — Tabel V, [24]. De asemenea, s-au studiat deplasările izotopice la Nd I,

Deplasări izotopice la Ba I (în mK)

Tabel V

λ(Å)	138	134	134	137	135
4934	0	5,6±0,4	8,1±0,4	8,8±1,0	12,6±1,0
4554	0	5,9±0,5	8,3±0,4	9,5±1,0	12,7±1,0

pentru liniile λλ 5729, 5675, 5620, 4945, 4924 şi 4897 Å — Tabel VI, [25];

Deplasări izotopice la Nd I (în mK)

Tabel VI

λ(Å)	142—144	144—146	146—148	148—150
5729	18,1±0,4	16,7±0,3	20,4±0,3	33,9±0,3
5675	21 ±0,5	19,3±0,3	22,6±0,3	40,3±0,3
5620	20,8±0,3	19 ±0,3	23,1±0,3	37,8±0,3
4945	20,5±0,6	19,6±0,4	20,8±0,6	23,1±0,4
4924	32 ±0,3	29,8±0,3	32,5±0,3	41,6±0,3
4897	22,4±0,4	21,3±0,4	22,6±0,4	25,5±0,4

pentru prima dată în literatură, s-a utilizat spectrofotometrul înregistrator Fabry—Pérot pentru studierea deplasărilor izotopice la Sn, în ultraviolet, în liniile λλ 3262 şi 3175 Å — Tabel VII, [26].

Deplasări izotopice la Sn I

Tabel VII

λ(Å) Tranziție	3262,33 $5p^1D_2-6s^1P_1^\circ$				3175,02 $5p^3P^\circ_2-6s^3P_1^\circ$			
Pereshe izotopi	116–120	118–120	120–122	120–124	116–120	118–120	120–122	120–124
Δν[mk]	17,5±0,6	6,9±0,6	6,2±0,6	11,8±0,5	19,3±0,5	7,6±0,6	6,8±0,6	13,9±0,6

C. *Calculul unor mărimi nucleare*

Prelucrarea rezultatelor experimentale din tabelele anterioare, pe baza teoriei ameliorate a s.h.f. și a deplasărilor izotopice, a condus la determinarea unor proprietăți nucleare globale cu mare precizie.

Astfel, din s.h.f. ale liniilor Hg^{199}, Na^{23}, Ba^{135} și Ba^{137}, s-au calculat momentele magnetice nucleare date în Tabelul VIII.

Momente magnetice nucleare

Tabel VIII

Element	μ rez	μ optic	Ref.
Hg^{199}	0,504 μ_N	0,506 μ_N	[5], [6]
Na^{23}	2,217 μ_N	2,218 μ_N	[7]
Ba^{135}	0,837 μ_N	0,843 μ_N	[8], [9]
Ba^{137}	0,936 μ_N	0,930 μ_N	[8], [9]

Măsurători de deplasări izotopice efectuate la Hg au permis să se calculeze-pentru prima dată prin metodele optice-o rază nucleară, obținîndu-se pentru mercur valoarea, [23] : $(1{,}17 \pm 0{,}08)10^{-13}$ $A^{1/3}$ cm, care este identică cu aceea calculată de Fitch și Rainwater, [27], din spectrele mezoatomice.

Din deplasările izotopice la bariu s-au calculat valorile parametrilor de deformare și a cuadrupolilor nucleari intrinseci, iar pentru izotopii impari —valorile momentelor electrice de cuadrupol — Tabel IX.

Parametri de deformare nucleară, cuadrupoli nucleari intrinseci; momente electrice de cuadrupol, la Ba I

Tabel IX

Izotopul	138	137	136	135	134
α	0	0,082	0,094	0,122	0,128
$Q_0 \times 10^{24} cm^{-2}$	0	1,91	2,17	2,82	2,97
$Q_R \times 10^{24} cm^{-2}$	—	0,38	—	0,56	—

Evaluînd contribuţiile efectelor de masă — normal şi specific — la deplasarea izotopică experimentală, s-a putut determina şi contribuţia efectului de volum la această deplasare. Astfel, la Nd, efectul de masă specific în liniile amintite anterior a fost determinat prin metoda dreptei, a lui King [28], [29] (care consta în a reprezenta grafic deplasările izotopice într-o linie spectrală în funcţie de deplasările izotopice corespunzătoare acelorași perechi izotopice, însă măsurate în altă linie spectrală). Metoda a fost utilizată pentru perechi de linii care prezentau deplasări izotopice negative, respectiv pozitive. În acest mod, a fost posibil să se determine şi contribuţia efectului de volum la deplasarea izotopică — Tabelul X — şi,

Deplasări izotopice de volum, la NdI (în mK)

Tabel X

λ (Å)	142—144	144—146	146—148	148—150
5729	35,5	34,1	37,8	51,3
5675	38,7	37,0	40,3	58,0
5620	38,0	36,2	40,3	55,0
4945	−22,9	−22,0	−23,2	−25,5
4924	−23,7	−21,5	−24,2	−33,3
4897	−19,8	−18,7	−20,0	−22,9

pe această bază, să se calculeze valorile constantelor experimentale ale deplasării izotopice — Tabelul XI.

Constante izotopice exp. la NdI

Tabel XI

Perechea izotopică	142—144	144—146	146—148	148—150
$C_{izo.}^{exp.}$ (mK) (Steudel)	148,0	132	153,4	224
$C_{izo.}^{exp.}$ (mK) (Comaniciu)	150,6	128,3	154	224

Raportînd aceste valori la valorile constantelor izotopice standard, [1], s-a procedat la determinarea parametrului de deformare nucleară α, luîndu-se valoarea O pentru α (Nd^{142}) — deoarece $N=82$, este un număr magic. S-a reuşit astfel să se determine momentele de cuadrupol electric intrinsec. În Tabelul XII sînt date valori care s-au găsit a fi în excelent

Valori ale cuadrupolilor electrici intrinseci, la Nd I

Tabel XII

A	144	146	148	150	Lucrarea
$Q_0 \times 10^{24} cm^{-2}$	1,86	2,24	2,71	4,47	Fizică nucleară (Eccleshal et al.)
$Q_0 \times 10^{24} cm^{-2}$	1,62	2,11	2,81	4,22	Spectr. interf. (Comaniciu)

acord cu datele cele mai recente din literatură, [30]; ele au fost obținute pe baza folosirii expresiei corecte pentru momentul de cuadrupol electric, [23], și a luării în considerație a îmbunătățirilor teoretice aduse de N.J. Ionescu—Pallas, [4], [10], pentru diferiții factori ai expresiei utilizate.

Ca și la Nd, ba chiar mai accentuat, problema efectului de masă specific s-a impus și în cazul Sn [26]. Utilizîndu-se tranziții convenabile (de singlet, respectiv triplet), pentru care efectul de masă specific are valori aproximativ egale dar de semn contrar, [31], s-a evaluat contribuția efectului de volum la deplasarea izotopică experimentală și, în consecință, constanta experimentală a deplasării izotopice — Tabelul XIII — precum

Tabel XIII

Const. izotop. exp. pentru SnI λ 3175 Å

Perechea izotopică	116—118	118—120	120—122	122—124
$C_{izo.}$ (mK)	74,4±2,7	39,4±4,5	33,2±3,8	36,7±1,0

și valorile parametrului de deformare nucleară, α, Tabelul XIV — însă

Tabel XIV

Valori relative $\alpha \frac{2}{A}$ pentru SnI λ 3175 Å

Izotopul	116	118	120	122	124
$(\alpha^2_A - \alpha^2_{120}) \times 10^3$	−7,28±1,10	0,21±0,95	0±0,75	−1,49±0,95	−2,28±1,10

valori relative la izotopul Sn^{120} (deoarece în literatură lipsesc date referitoare la momentul de cuadrupol intrinsec nucleare la Sn).

CONCLUZII

Realizarea unei aparturi cu performanțe la nivel mondial, precum și ameliorarea substanțială a teoriei structurilor hiperfine magnetice și a deplasărilor izotopice, au condus la obținerea valorilor unor momente magnetice nucleare prin metode optice, în foarte bună concordanță cu cele obținute prin metode directe, de rezonanță magnetică, precum și la determinarea unor alte mărimi nucleare, cum sînt : cuadrupolii nucleari, constantele de deplasare izotopică, parametrii de deformare nucleară, constanta de compresibilitate nucleară , raze nucleare.

Unele din rezultatele obținute de noi au fost incluse în tabele internaționale de mărimi nucleare (momentul de dipol magnetic nuclear al Hg^{199} și Na^{23}), majoritatea lucrărilor noastre fiind primite cu interes de lumea științifică internațională.

Rezultatele obținute confirmă o dată mai mult că metodele optice ale spectroscopiei interferențiale sînt actuale și de importanță majoră în fizica nucleară, atît prin precizia pe care o oferă, cît și prin cîmpul larg de probleme pe care le pot aborda.

BIBLIOGRAFIE

1. *V. Drăgănescu, A. Agafiței, N. Comaniciu, A. Nițoi*, Rev. Roum. Phys., 9, 8, 733 (1964).
2. *N.J. Ionescu—Pallas*, St. Cerc. Fiz. *13*, 1, 101 (1962).

3. *H. Kopfermann*, Kernmomente, 2 Aufl. Stutgart : Akad. Verlag, 1956.
4. *N.J.Ionescu—Pallas*, Phys. Rev., *117*, 2, (1960).
5. *I. Agârbiceanu, N. J. Ionescu—Pallas, V. Drăgănescu, N. Comaniciu, V. Tatu*, C.R.Ac. Sci,. Paris, *250*, 2, 317 (1960).
6. *I. Agârbiceanu, L. Blănaru, V. Drăgănescu, N.J.Ionescu—Pallas, N. Comaniciu, V. Tatu*, Optika i Spektrosk., *10*, 3, 297 (1961).
7. *V. Drăgănescu*, C.R. Ac. Sci., Paris, *262 A et B*, 13, 83 B (1966).
8. *N. Comaniciu, V. Drăgănescu, V. Tatu*. Rev. Roum. Phys., *11*, 5, 399 (1966).
9. *N. Comaniciu, V. Drăgănescu, V. Tatu*, C.R. Ac. Sci., Paris, *262 A et B*, 13, 91 5B1(966).
10. *N. J. Ionescu—Pallas*, Ann d. Phys., *8*, 1—2, 9 (1961).
11. *N.J.Ionescu—Pallas*, Ann, d. Phys., *10*, 3—4, 121 (1962).
12. *N.J.Ionescu—Pallas*, Ann d. Phys., *15*, 3—4, 144 (1965).
13. *V. Tatu*, St. Cerc. Fiz., *9,4*(, 521 (1958).
14. *V. Tatu*, St. Cerc. Fiz., *19*, 6, 617 (1967).
15. *I. Agârbiceanu, V. Drăgănescu, A. Chetroiu*, St. Cerc. Fiz., *10*, 2, 247 (1959).
16. *V. Drăgănescu*, Optika i Spektrosk., *10*, 3, 301 (1961).
17. *I. Agârbiceanu, V. Drăgănescu, N.J.Ionescu—Pallas*, St. Cerc. Fiz., *10*, 2, 345 (1959)
18. *V. Drăgănescu*, Metrologia aplicată, *11*, 354 (1964).
19. *C. Berenyi, N. Comaniciu, M. Bârlogeanu*, St. Cerc. Fiz., *17*, 10, 1231 (1965).
20. *V. Drăgănescu, A. Agafiței, N. Comaniciu, A. Nițoi*, St. Cerc. Fiz. *16*, 7, 773(41964)
21. *V. Drăgănescu, N. Comaniciu, L. Blănaru, V. Tatu*. St. Cerc. Fiz. *12*, 2, 441 (1961)
22. *V. Drăgănescu, N. Comaniciu, L. Blănaru, V. Tatu*, Rev. Rium. Phys., *6*, 3, 419 (1961).
23. *I. Agârbiceanu, N. Comaniciu, V. Drăgănescu, V. Tatu*, St. Cerc, Fiz., *12*, 3, 645 (1961).
24. *N. Comaniciu, V. Drăgănescu, N. J. Ionescu—Pallas, V. Tatu*, C.R.A.c. Sci., Paris, *262 A et B*, 20, 1355 B (1966).
25. *N. Comaniciu*, Rev. Roum. Phys., *14*, 7, 603, (1969).
26. *V. Tatu*, Rev. Roum. Phys. *15*, 3, 285 (1970)
27. *V.L. Fitch, J. Rainwater*, Phys. Rev., *92*, 3, 789 (1953.)
28. *H. W. King*, J. Opt. Soc. America, *53*, 5, 638 (1963).
29. *H.W.King*, Proc. Roy. Soc., *280*, 1382, 430 (1964).
30. *N.J.Ionescu—Pallas*, C.R. Ac. Sci., Paris, *263 A et B*, 2, 99 B (1966).
31. *N.J.Ionescu—Pallas*, Rev., Roum. Phys., *12*, 8, 733 (1967).

DESPRE FORMELE POLIMORFE ALE AL_2O_3

Ing. chimist *TUDOR SURDEANU*, Cluj

1. **Introducere** Formele polimorfe sînt diferite modificații cristaline ale aceleiași substanțe chimice. La o anumită temperatură este stabilă forma polimorfă, care are energia liberă cea mai scăzută, iar celelalte forme tind să se transforme în ea. Energia liberă a fiecărei forme polimorfe este dată de următorii parametri :

$$F = E + p\,v - TS$$

unde; E = energia internă, determinată de energia de structură; p = presiunea; v = volumul; T = temperatura absolută; S = entropia formei cristaline.

Produsul $p\,v$ este mic și nu variază prea mult cu temperatura și cu transformările polimorfe și de aceea se poate neglija.

Trecerea de la o formă poimorfă la alta, are loc la o temperatură fixă, cu eliberare sau absorbție de căldură.

2. Formele polimorfe ale Al_2O_3.

Al_2O_3 prezintă mai multe forme polimorfe dintre care cea mai stabilă este α Al_2O_3 (corindonul).

α Al_2O_3 cristalizează în sistemul hexagonal, avînd greutatea specifică $\gamma = 3{,}99$ gr/cm³ și duritatea 9 în scara Mohs. Indicii de refracție pentru α Al_2O_3 sînt; $Ng = 1{,}768$ și $Np = 1{,}760$. Punctul de topire al α Al_2O_3 este de 2.041 $\pm$ 2° în aer (măsurat cu un pirometru optic) și în vid de 2.051 $\pm$ 4° C (măsurat cu pirometru fotoelectric).

În celula α Al_2O_3 numărul de coordinație al ionilor de aluminiu este 6, iar valența + 3. Distanța între doi ioni de oxigen, cei mai apropiați este de $d = 2{,}16$ Å.

Celula elementară romboedică a corindonului este compusă din două molecule de Al_2O_3 (fig. 1). La această celulă lungimea muchiei este $d = 5{,}12$ Å, iar unghiul plan $\alpha = 55°17'$.

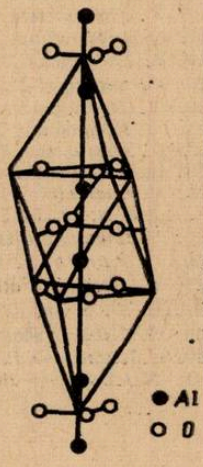


Fig. 1

Dana a ilustrat numeroase habitusuri de cristale de α Al_2O_3. Acestea se prezentau de la prisme tabulare și hexagonale alungite, la piramide sau agregate rotunde și tabulare, așa cum au fost găsite în șmirghel. În general habitusul primar al particulelor de αAl_2O_3 apare ca un romboedru pozitiv.

αAl_2O_3 se întîlnește în corindonul natural și sintetic, în masele de silicați tehnici, cînd cristalizarea Al_2O_3 are loc în prezența unei faze lichide.

Corindonul natural se prezintă sub formă de cristale incolore cu indice de refracție înalt sau sub formă de cristale colorate în prezența impurităților : roșu (rubin), cînd impuritățile sînt oxizii de crom sau în albastru (safir), cînd impuritățile sînt oxizi de fier și titan. Corindonul sintetic se obține prin încălzirea la temperaturi înalte sau topirea în cuptoare electrice a hidroxidului sau oxidului de aluminiu.

αAl_2O_3 se poate obține de asemenea prin procedeul aluminotermic în urma reacțiilor :

$$Fe_2O_3 + 2Al = \alpha\ Al_2O_3 + 2Fe$$

$$Cr_2O_3 + 2Al = \alpha\ Al_2O_3 + 2\ Cr$$

cînd căldura de formare :

$$2\ Al\ (solid) + 1\frac{1}{2}\ O_2\ (gaz) = \alpha\ Al_2O_3.$$

este de cca 400 Kcal.

αAl_2O_3 obținut în cuptorul electric are spectrul de difracție al razelor X identic cu cel al corindonului natural, ceea ce se datorește structurilor cristaline identice

Cristalizarea α Al_2O_3 din masele de silicați tehnici în prezența unei faze lichide, este puternic influențată de prezența unor oxizi. Astfel, adăugarea unor mici cantități de Mg O (0,1 — 0,25%) sau NiO la ceramicele superaluminoase inhibă creșterea granuleleor de α Al_2O_3 în timpul sinte-

rizării. Aceasta se datorește faptului că ionii de Mg^{2+} nu intră în rețeaua corindonului. Ei rămîn la granița dintre particule, sub formă de spinel, cauzînd o descreștere a mobilității

Infuențe asemănătoare cu MgO și NiO, asupra creșterii cristalelor de α Al_2O_3 în ceramicele superaluminoase, au și următorii oxizi: CaO, BaO, Cr_2O_3, SiO_2. Oxizi ca: TiO_2, MnO_2, CoO, Fe_2O_3, favorizează creșterea cristalelor de αAl_2O_3 pin formarea unor cristale mixte cu α Al_2O_3. Ceramicele superaluminoase cu MgO, ca adaus, prezintă cristale mici, microprismatice, izomorfe de αAl_2O_3, în timp ce cermica superaluminoasă cu TiO_2, ca adaos, prezintă o structură macrogranulară și constă din cristale prismatice lungi de αAl_2O_3 cu dimensiuni de 50—500 μm, predominînd cele cu 80—160 μm.

Multe din topiturile de Al_2O_3 sînt compuse în mod principal din α Al_2O_3, dar datorită prezenței oxizilor secundari, apar diferențe de textură.

O altă formă polimorfă a Al_2O_3 este γ Al_2O_3.

γAl_2O_3 este o formă polimorfă de temperatură joasă care cirstalizează în sistemul cubic sub formă de octaedri. Are greutatea specifică $\gamma = 3{,}42-3{,}47$ g/cm³ și spre deosebire de αAl_2O_3 este solubilă în acizi concentrați. Indicele de refracție pentru γ Al_2O_3 este $Ng = 1{,}736$. γAl_2O_3 are reactivitate chimică mare. E higroscopică, transformîndu-se la temperatura camerei în hidrargilit ($Al_2O_3.3\,H_2O$) și în prezența vaporilor de apă la 150°C în boemit ($Al_2O_3.H_2O$).

γ Al_2O_3 se poate obține prin încălzirea hidrargilitului (gibbsit) după următoarea schemă. [4]:

$$\underset{(Al_2O_3.3H_2O)}{\text{Hidrargilit}} \xrightarrow{290^\circ C - 340^\circ C.} \underset{(Al_2O_3.H_2O)}{\text{boemit}} \xrightarrow{490 - 550^\circ C} \gamma\ Al_2O_3 \xrightarrow{1200^\circ C} \alpha\ Al_2O_3$$

Transformarea este însoțită de schimbarea indicelui de refracție:

Temperatura °C.	150	750	850	890
Indicele de refracție	1,587	1,635	1,665	1,681

γAl_2O_3 se mai poate obține și prin calcinarea bauxitelor și a argilelor refractare la 800—1000°C. De asemenea γAl_2O_3 precipită primar din topiturile sistemului Al_2O_3 — Li_2O. Începînd cu 1 200°C, γ Al_2O_3 se transformă în α Al_2O_3 fenomen, care are loc cu o contracție de volum pînă la 20%. Transformarea γAl_2O_3 în αAl_2O_3 are loc după schema;

$\gamma Al_2O_3 \rightarrow Al_2O_3$ amorf $\rightarrow \alpha Al_2O_3$, ceea ce explică și contracția mare care însoțește această transformare. Trecerea are loc treptat și este însoțită de o degajare de căldură de 7,8 Kcal./mol.

Transformarea γ Al_2O_3 în αAl_2O_3 nu se face la punct fix deoarece cele două polimorfe sînt monotrope.

În literatură se mai indică și alte forme polimorfe ale Al_2O_3 ca: $\gamma' Al_2O_3$. δ Al_2O_3 și ξ Al_2O_3.

— γ' Al_2O_3 are rețea cristalină cubică și greutatea specifică $\gamma =$ 3,62 gr./cm.³ — La fel ca și γ Al_2O_3 începînd cu 1 200° C, ea se transformă în α Al_2O_3.

δ Al_2O_3 se formează prin răcirea rapidă a oxidului de aluminiu topit. Cristalizează în sistemul cubic, ionii de aluminiu avînd numărul de coordinație 4 și 6. δAl_2O_3 trece la 1000°C în αAl_2O_3.

ξ Al_2O_3, la fel ca şi alte forme indicate în literatură ($-\theta-k$; $-\eta$; $-x$,) este identică cu γ Al_2O_3.

La începutul descoperirii sale s-a crezut că β Al_2O_3 este o formă polimorfă a Al_2O_3 stabilizată prin cantităţi mici de alcalii. Acum datorită metodelor moderne de cercetare, este recunoscut că βAl_2O_3 este un aluminat cu o structură caracteristică, care conţine ioni alcalini în proporţii diferite. În sensul larg,,ionii" alcalini pot fi reprezentaţi de ionii metalelor alcaline, de ionii metalelor alcalino-pământoase, de Pb^{2+} de Fe^{3+} Ga^{3+} şi probabil şi de alţi ioni similari. Pentru a ilustra compoziţia chimică a βAl_2O_3 s-au propus două tipuri de formule: — faza caracterizată prin formulele Na_2O. 11 Al_2O_3 sau Na_2O. 9 Al_2O_3; faza caracterizată prin formele Na_2O. 5 Al_2O_3 sau Na_2O. 7 Al_2O_3.

În mod frecvent se întrebuinţează denumirea de β Al_2O_3 pentru faza caracterizată de primul grup de formule. Studiul cu raze X a arătat însă că βAl_2O_3 nu este în mod uzual compusul 1 :11, ci o fază asemănătoare bogată în alcalii. βAl_2O_3 cristalizează in sistemul hexagonal, cu clivaj după pinacoidul de bază. — Are greutatea specifică $\gamma = 3{,}3 - 3{,}4$ g./cm³, duritatea 5,5—6 în scara Mohs şi următorii indici de refracţie: $Ng = 1{,}680$ şi $Np = 1{,}650$.

βAl_2O_3 apare ca o fază cristalizată primar din topiturile sistemelor:

$Na_2 - Al_2O_3$; $K_2O - Al_2O_3$: $Na_2O - Al_2O_3 - SiO_2$ şi $K_2O - Al_2O_3 - SiO_2$.

βAl_2O_3 a fost găsită de asemenea cristalizată din topiturile sistemului: Mg O—Al_2O_3—SiO_2 impurificat cu alcalii, precum şi în sistemele: Na_2O— —CaO—Al_2O_3—SiO_2 şi NaAl SiO_4—Ca O . Al_2 O_3. În toate cazurile compoziţia β Al_2O_3 depinde de compoziţia topiturii din care se formează. βAl_2O_3 se poate forma de asemenea în ceramicele policristaline obţinute din alumină sinterizată avînd o puritate >99% Al_2O_3 cînd conţinutul de Na_2O > 0,05%, în prezenţa unor cantităţi mici de Mg O (0,1 — 0,2%).

În sprijinul formulei Na_2O. $5Al_2O_3$ vin experienţele lui Theory şi Briancon care au preparat compusul Na_2O. $5Al_2O_3$ prin reacţia dintre Na Al O_2 sau Na_2 CO_3 şi αAl_2O_3 la 1050°C. Acest compus este stabil pînă la 1250°C, cînd începe să piardă Na_2O şi să formeze αAl_2O_3. Pentru compusul 1 :5, dimensiunea „a" a celulei elementare a fost identică cu cea a compusului 1 :11, dar dimensiunea „c" a fost de 1,5ori mai mare.

Pe baza datelor din literatură, sînt arătate 3 diagrame de fază pentru sistemul Na_2O. Al_2O_3 —Al_2O_3, în care sînt expuse echilibrele existente între formele β Al_2O_3 discutate, faza lichidă şi αAl_2O_3.

Transformarea βAl_2O_3 în αAl_2O_3 este o reacţie lentă în raport cu temperatura, spre deosebire de transformările polimorfe propriu-zise. Ea începe la 1200°—1300°C şi la 1600°C, în prezenţa K_2O, β Al_2O_3 trece complet în αAl_2O_3. În prezenţa Na_2O, β Al_2O_3 se transformă complet în α Al_2O_3 la 1700° C. Gallup [citat în 10°] a arătat că β Al_2O_3 încălzită în mediu de H_2, argon sau vacuum se transformă nemijlocit în αAl_2O_3. În literatură [1; 10] mai sînt prezentaţi şi alţi aluminaţi ca: K_2O. 11 Al_2O_3, CaO. $6Al_2O_3$, SrO. 6 Al_2O_3, cu reţea cristalină hexagonală şi cu parametrii reţelei foarte apropiaţi sau chiar identici cu cei ai β Al_2O_3.

3. Concluzii: a. αAl_2O_3 şi γAl_2O_3 sînt singurele forme polimorfe ale oxidului de aluminiu, folosite în mod curent în tehnică şi industrie; b. Celelalte forme polimorfe ale Al_2O_3 citate în literatură (ξ, γ'; δ; θ; $-k$; $-\eta$; $-x$), sînt asemănătoare sau chiar identice cu γ Al_2O_3. Ele prezintă un

interes pur științific; βAl_2O_3 nu reprezintă o formă polimorfă a Al_2O_3, ci ea este un aluminat alcalin cu o compoziție nestoechiometrică, care începînd cu 1200°C, se transformă treptat în αAl_2O_3, lent în raport cu temperatura .

TEHNICA RADIOLIZEI ÎN IMPULS

Asistent. *M. CONTINEANU*, Lab Radiochimie, Univ. București

A. Introducere.

În experiențele în care sînt utilizate sursele convenționale de radiații (α, β, γ, X) viteza de formare și dispariție a speciilor intermediare are o astfel de valoare încît concentrația lor la echilibru la orice moment în timpul iradierii este foarte mică. Astfel la o doză de 10^5 rad/s concentrația de radicali în apă este de 10^{-6}mol/l. În afară de aceasta durata iradierii este mult prea lungă în comparație cu viața speciilor intermediare. Prin urmare aceste specii nu pot fi detectate.

Tehnica radiolizei în impuls (1) se adaugă metodelor existente de studiu a reacțiilor rapide ca de exemplu fotoliza fulger, metodele de relaxare etc. Ea furnizează informații cantitative asupra proceselor elementare și deci asupra mecanismului reacțiilor chimice produse prin iradiere. Problema centrală în studiul mecanismelor de reacție este identificarea și reactivitatea speciilor de viață scurtă.

Radioliza în impuls cuprinde experiențele prin care speciile intermediare, formate de un puls intens de radiații ionizante sînt observate direct cu ajutorul uneia din proprietățile lor cum ar fi : conductibilitatea electrică, absorbția optică, absorbția R.E.S.

Durata pulsului este dependentă de sursa care-l generează, ea poate ajunge în domeniul nanosecundelor și chiar mai mică. Energia electronilor ionizanți, necesară pentru iradierea lichidelor este cuprinsă între 2 și 15 MeV în vreme ce pentru gaze, datorită densității lor mult mai mici, este suficientă o energie de pînă la 0,5 MeV.

Acceleratorii liniari de microunde, generatorii Van de Graaff pulsați sînt capabili să furnizeze doze foarte mari ($>10^{11}$ rad/s) în pulsuri cu o durată mai scurtă decît viața medie a speciilor chimice tranziente (10^{-9} — 10^{10}s). Aceste specii se formează în timpul său după declanșarea pulsului, într-o concentrație suficient de mare ceea ce face posibilă observarea și studiul lor direct.

În timpul relativ scurt ce s-a scurs de la apariția tehnicii radiolizei în impuls (1960) au putut fi identificate și studiate un număr mare și variat de specii cu viață scurtă : radicali liberi, radicali ionici, electron solvatat, molecule excitate. Au fost determinate constante absolute de viteză. Au fost elucidate probleme cum ar fi comportarea electronilor secundari în lichide polare, transferul de energie, reacții chimice în sisteme de interes biologic.

B. Sursele pulsate de radiații ionizante

Sursele pulsate de radiații pot fi clasificate în următoarele trei mari grupe :

1. În prima grupă intră sursele care generează direct pulsuri de radiații. Exemple de asemenea aparate sînt acceleratorul linear de microunde (2—5) febetronul (6) și sistemele de radiații X pulsate (7).

2. Din grupa a doua fac parte sursele la care pulsurile de radiații se obțin cu ajutorul unor dispozitive speciale. Astfel, generatorul Van de Graaff (8) este destinat pentru a produce radiații continue, dar folosind scheme electronice speciale el poate genera pulsuri puternice de electroni.

3. A treia grupă îl ocupă metodele de generare a radiației discontinue În acest caz se folosesc sursele obișnuite de radiații γ sau X. Întreruperea radiației emise de sursă se realizează prin metode mecanice.

În studiile de radioliză în impuls sursa pulsată de radiații trebuie să iradieze uniform celula de reacție cu un puls instantaneu și suficient de intens pentru a crea o concentrație detectabilă de specii chimice. Termenul de instantaneu este relativ, aceasta înseamnă că durata pulsului să fie neglijabilă în comparație cu reacțiile ce apar în timpul iradierii. De exemplu pentru o reacție cu o durată de 1 μmsec, un puls de 10 μ sec poate fi privit instantaneu. Concentrația limită detectabilă este dependentă atît de energia fluxului de electroni cît și de sensibilitatea de măsurare a aparaturii folosite. Aceasta din urmă este condiționată și de proprietățile speciei date, ca de exemplu coeficientul molar de extincție. Electronul hidratat are un coeficient molar de extincție foarte mare 10^4 mol^{-1} cm^{-1}. Lucrînd cu pulsuri de 0,4 μ sec și o doză de 10^{15} eV Hart, Gordon și Fielden (9) au urmărit dispariția electronului hidratat pornind de la o concentrație de numai 9×10^{-9} mol.

Inseamnă că speciile, care prezintă un coeficient molar de extincție mic, vor necesita concentrații mari pentru a fi detectate.

C. Detecția optică a speciilor intermediare (10)

Concentrațiile intermediarilor formați de un puls de radiații sînt determinate, de cele mai multe ori folosind măsurători de absorbție optică. Există două metode optice prin care pot fi studiate reacțiile chimice ce au loc în timpul sau după producerea pulsului; fie urmărind variația intensității luminii transmise în funcție de timp la o anumită lungime de undă (metoda spectrofotometrică) fie fotografiind întregul spectru de absorbție la un timp dat după declanșarea pulsului în funcție de lungimea de undă (metoda spectrofografică).

a) *Metoda spectrofotografică* (11). Un fulger scurt și intens de lumină, care poate fi declanșat simultan sau cu o anumită întîrziere (de ordinul microsecundelor) față de pulsul de electroni, străbate celula de iradiere și este focalizat pe fanta de intrare a spectrografului. Pe o placă fotografică se înregistrează spectrul tuturor speciilor intermediare prezente la un anumit moment. Viața medie a acestor specii este urmărită variind intervalul de timp dintre pulsul de electroni și fulgerul luminos.

Această metodă reprezintă o etapă preliminară necesară în studiile de radioliză în impuls. Ea ne permite să stabilim lungimea de undă la care anumite specii absorb și totodată să evaluăm viața ei medie după creșterea sau scăderea absorbției în timp. Putem astfel să identificăm specia apărută.

Metoda spectrofotografică se impune în mod deosebit cînd se lucrează radioliză în impuls aplicată la sisteme gazoase (11) deoarece, înregistrarea

fotografică constituie singura posibilitate de a observa și studia structura vibrațională și rotațională a spectrelor speciilor formate prin iradiere.

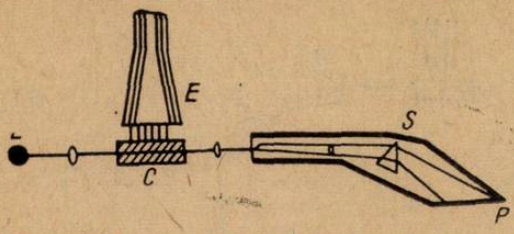


Fig. 1 — Schiță de principiu a aparaturii folosite în tehnica spectrofografică.
L. — scînteie luminoasă. C — celula de iradiere E — flux de electroni. S — spectrograf.
p — placă fotografică

În figura 1 este schițată aparatura utilizată de Hart și Boag (12, 13) cu care au obținut spectrul de absorbție al electronului hidratat la iradierea apei dezaerate și a unor soluții apoase.

Celula (C) ce conține proba este iradiată lateral de un flux de electroni cu energie de 1,8 MeV și o durată a pulsului 2 microsecunde. Simultan sau cu un anumit decalaj față de puls este declanșată sursa luminoasă (L) de durată 4μ sec. Fluxul luminos trece prin celula de iradiere în spectrograf (S). Spectrul de absorbție al speciilor intermediare este apoi fotografiat. Un alt aranjament experimental, pentru studiile de radioliză în impuls, utilizînd metoda spectrofotografică, a fost folosit de Dorfman și colaboratorii săi (14) care însă nu se deosebește principial de sistemul anterior.

b) *Metoda spectrofotometrică* După ce spectrele tranzienților au fost analizate și speciile identificate, formarea sau dispariția unei anumite specii poate fi acum urmărită foarte rapid și exact prin metoda spectrofotometrică. Această metodă este mai sensibilă la micile variații ale absorbției luminii în comparație cu metoda spectrofotografică.

Fluxul luminos, care străbate celula de iradiere este focalizat pe fanta de iradiere a unui monocromator. Lumina monocromatică cade pe catodul unui tub fotoelectric. Curentul apărut este amplificat și aplicat unui osciloscop. Oscilogramele înregistrate simultan cu pulsul de electroni (sau la un anumit timp după aceea) vor prezenta o deplasare verticală. Aceasta este proporțională cu intensitatea luminii absorbite de speciile formate prin iradiere. Pentru calcule cinetice oscilograma este convertită în densitate optică (15). Dacă se notează cu I_0 și I_t intensitatea luminii, care ajunge la fotomultiplicator înainte și respectiv după un timp t de la apariția speciilor intermediare, atunci densitatea optică este definită de ecuația :

$$D_t = \log \frac{I_o}{I_t} \qquad (1)$$

Cunoscînd densitatea optică D_t se poate cacula concentrația c a speciilor la timpul t utilizînd legea Lambert-Beer

$$D_t = \varepsilon^{\lambda}.c.l. \qquad (4)$$

unde ε este coeficientul molar de extincție la lungimea de undă, λ, l este lungimea (cm) drumului optic străbătut de lumina analizoare prin celula de iradiere.

Dispunerea aparaturii (16) folosite în această metodă este schiţată în figura 2.

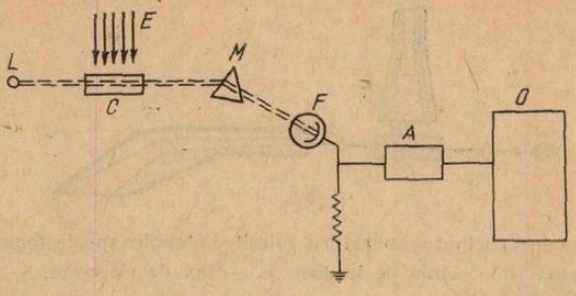


Fig. 2. Schiţă de principiu a aparaturii folosite în tehnica spectrofometrică.
L — lampă cu fulger; C — celulă de iradiere; M — monocromator; F — fotomultiplicator; A — amplificator; O — osciloscop

Lumina de la o lampă L de intensitate constantă trece în primul rînd prin celula de iradiere (C) apoi prin monocromator (M) sau spectrograf unde se selectează o anumită radiaţie (pe care o absoarbe specia intermediară şi în cele din urmă cade pe un fotodector (F) sau fotomultiplicator. Semnalul fotomultiplic atorului este amplificat (A) şi introdus într-un osciloscop (O). Oscilograma obţinută este fotografiată cu o cameră polaroid. În acest aranjament fluxul de electroni absorbit în celula(C)cade perpendicular pe direcţia luminii analizoare.

Trebuie menţionat că în acestă metodă radiaţia Cerenkov formată pe durata pulsului afectează funcţionarea fotodetectorului. În acest scop sistemul de detecţie a luminii se găseşte la oarecare distanţă de acceleratator şi protejat de radiaţie cu un ecran de plumb.

În 1967 La Argoune National Laboratory s-au adus modificări acceleratorului Van de Graaff de 3 MeV, făcîndu-l capabil să furnizeze pulsuri de 5 amperi şi durata de 1 nanosecundă. Principalele îmbunătăţiri aduse se referă la sursa de electroni şi la sistemul de declanşare a pulsului (17). Schema instalaţiei este dată în lucrarea lui Hunt şi Thomas (18).

Instalaţiile de radioliză în impuls descrise pînă acum nu sînt în măsură să investigheze fenomenele care se petrec în intervalul 0,01—1 nsec, deoarece timpul lor de rezoluţie este limitat la 1 nsec. Bronskill (19—22) şi colab. au descris o nouă tehnică, care este capabilă să înregistreze absorbţiile optice ale unor specii intermediare cu o viaţă mai mică de 0,02 nsec. Acceleratorul utilizat furnizează pulsuri de 30 MeV ce posedă o structură fină. Durata pulsului este de 30 nsec. El constă din 10 micropulsuri care se repetă în 0,35 nsec.

Lumina analizoare este radiaţia Cerenkov produsă de micropulsuri la trecerea acestora prin aer, de la sursă la celulă. Radiaţia Cerenkov este scoasă din fluxul de electroni cu ajutorul unui sistem de oglinzi pentru ca apoi să fie reintrodusă şi să pătrundă în celula de iradiere prin acelaşi punct cu fascicolul de electroni. Datorită deviaţiei optice lumina analizoare va fi decalată în timp faţă de fascicolul de electroni. Fluxul de electroni stăbătînd proba de analizat va genera o a doua radiaţie Cerenkov, care pentru sistemul de detecţie constituie zgomotul. Pentru a obţine spectrul speciei absorbante se scad din semnalul real semnalele produse de cele două radiaţii Cerenkov înregistrate separat. Modul practic de realizare este dat în lucrarea lui Bronskill şi Huntt (19).

D. Celula de reacţie. După cum am arătat, speciile formate în celula de iradiere absorb o parte din lumina analizoare, fenomen detectat măsurînd variaţia intensităţii luminii transmise. În absenţa oricărei reacţii chimice apar totuşi modificări ale intensităţii luminii, care vor cauza zgomotul (Z) în curentul catodic al fotodetectorului.

Zgomotul apărut se datoreşte micilor schimbări în tensiunea de alimentare a lămpii, fluctuaţiilor în intensitatea fulgerului luminos, sau vibraţiilor sistemului optic.

Semnalul (S) datorat absorbţiei speciilor chimice intermediare şi care trebuie comparat cu zgomotul are el însuşi o valoare mică. În acest scop se impune construirea unui astfel de sistem optic, care să realizeze o valoare cît mai mare posibilă a raportului semnal zgomot (S/N). Acest raport este dat de expresia:

$$\frac{S}{N} = k \varepsilon c l \qquad (3)$$

unde k — este o constantă de proporţionalitate; l — drumul optic; c — concentraţia speciei absorbante; ε — coeficient molar de extincţie

Rezultă din relaţia (3) că pentru o anumită concentraţie de specii tranziente sensibilitatea poate fi crescută dacă se măreşte drumul optic al luminii analizoare prin celula de iradiere.

La Paterson Laboratories (10) s-a construit o celulă în care fluxul luminos suferă o reflexie totală în interiorul ei. Celula constă dintr-un tub de cuarz spiralat şi prevăzut la capete cu ferestre perfect netede. Lumina pătrunde printr-una din ferestrele spiralei şi cînd celula este umplută cu lichid, ea se comportă ca un ghid de lumină.

Un alt gen de celulă se numeşte cu reflexie multiplă. Aceasta a fost descrisă pentru prima dată de White (23) şi utilizată în tehnica radiolizei în impuls de Matheson (24). Ea constă în aceea că la cele două capete ale cuvei cu soluţie se găseşte cîte o oglindă concavă (O_1 şi O_2). Spaţiul dintre oglinzi şi celulă este umplut cu apă pentru a micşora pierderile de lumină. Oglinzile sînt plasate la o distanţă egală cu razele lor de curbură. Oglinda O_1 este tăiată în lungul diametrului şi cele două jumătăţi sînt fixate într-un stativ special.

Fluxul luminos, care pătrunde printr-un mic orificiu practicat în oglinda O_2 se reflectă pe una din jumătăţile lui O_1 şi ajunge înapoi la O_2. Lumina reflectată de aceasta este transmisă din nou spre oglinda O_1 unde se reflectă pe suprafaţa celeilalte jumătăţi şi iese în final printr-un alt orificiu situat în oglinda O_2. Prin repetarea ciclului de reflexie între oglinzile O_1 şi O_2 numărul de treceri poate creşte la 12, 16, 24...iar drumul optic al luminii analizoare în celulă poate ajunge la cîţiva metri. Sistemul acesta se aplică în toate laboratoarele care fac cercetări de radioliză în impuls.

Dacă fluxul de electroni are energie mică (<4 MeV) atunci el iradiază celula în direcţia perpendiculară faţă de fascicolul de lumină analizoare (12). În acest caz se folosesc celule de formă paralelipipedică. Fluxul de electroni cu energie mare poate străbate celula în lungul ei şi colinear cu lumina analizoare (28). Forma celulei este cilindrică.

E. Sursele de fulger luminos. Dacă se utilizează înregistrarea fotografică, atunci este necesar un fulger luminos cu durata mult mai scurtă decît viaţa speciilor chimice, care se studiază. Pe de altă parte dacă se foloseşte sistemul monocromator-fotomultiplicator-osciloscop atunci se impune încă o condiţie, sursa cu fulger luminos trebuie să aibă intensitatea constantă în timpul determinărilor. În ambele cazuri şi în special în primul, este de dorit ca sursa de lumină să posede un spectru continuu, deoarece la

BIBLIOTECA „ASTRA"

un spectru de linii pot lipsi tocmai acelea din regiunea unde absoarbe proba.

Cea mai simplă sursă este scînteia electrică produsă în aer între doi electrozi metalici. Folosind circuite electrice speciale şi un condensator de mare capacitate, aceste scîntei pot fi făcute suficient de scurte ($<1\mu$sec) pentru a fi utilizabile (29). Prezintă însă dezavantajul de a produce fulgere cu intensitate mică.

Boag (5) a folosit în experienţele de radioliză în impuls o sursă de scînteie produsă sub apă între doi electrozi cilindrici cu vîrfurile de uraniu. Ea produce un spectru aproape continuu, avînd doar cîteva linii datorită absorbţiei radicalilor OH formaţi prin descompunerea apei.

Lămpile cu descărcare în gaz rar, utilizate în fotografie sînt bune dar în nici un caz ideale pentru lucrări de spectroscopie rapidă. Cele umplute cu Xenon (14, 16) dau un spectru continuu dar au în schimb o durată a fulgerului relativ mare de pînă la 50 μ sec. Prin urmare sînt improprii spre a fi folosite pentru analiza speciilor chimice de viaţă $<50\ \mu$ sec.

Alte lămpi umplute cu Heliu sau Argon au o durată mai scurtă a scînteii, prezintă însă un pronunţat spectru de linii (30).

BIBLIOGRAFIE

1. *G.E.Adams* şi *B.D. Michael* „Energetics and Mechanismus in Radiation Biology ", Ed. G.O. Phillips, Academic Press Inc. London p. 77
2. *C.W. Miller* Engineering 80, 340 (1955)
3. *C.W. Miller*, Brit. Jour. Rad 35, 182 (1962)
4. *R.F. Post* şi *N.S. Shirer*, Rev. Sci. Inst, 26,205 (1955)
5. *J.W. Boag*, Actions Chimiques et Biologiques des Radiations M. Haissinsky 6 eme Serie, Masson and Cie, Paris 1963 p. 15
6. *Th. Franken, D. Perner* şi *M.W. Bosnali*, Z. Naturforsch. 25 a 151 (1970)
7. *G.M.A.C. Meaburn* şi *S. Gordon*,, Pulse Radiolysis" Academic Press New York 1965 p. 52
8. *W.J. Ramler, G. Mavrogenes* şi *K. Johnson* „Electron Accelerators for Pulse Radiolysis" ANL Report 7492 Argonne National Laboratory, Argonne, Illionis (1968)
9. *E.J.Hart, S. Gordon* şi *E.M.Fielden*, J. Phys. Chem, 150 (1966)
10. *J.P. Keene* „Pulse Radiolysis" Academic Press London 1965 p. 11.
11. *M. Contineanu* şi *R.N.Schindler* Anal. Univ. Buc. sub tipar
12. *E.J. Hart* şi *J.W. Boag*, J. Am. Chem. Soc, 84,4090 (1962)
13. *J.W. Boag* şi *E. J. Hart*, Nature London 197, 45 (1963)
14. *L.M. Dorfman, L. A. Taun* şi *R.E.Bühler*, J. Chem. Phys. 36, 3051 (1962)
15. *G. Czapski* şi *J. Rabani*, Israel Journal of Chemistry 7 167 (1969)
16. *J. P. Keene*, J. Sci. Instr. 41, 493 (1964)
17. *W. J. Ramler, K. Johnson* şi *T. Klippert*, Nucl. Instr. Methods, 47 23 (1967)
18. *J.W. Hunt* şi *J. K. Thomas*, Rad. Res. 149, 32 (1967)
19. *.MJ. Bronskill* şi *J. W. Hunt*, J. Phys. Chem. 72, 3762 (1968)
20. *M.J.Bronskill, R. K. Wolff* şi *J.W. Hunt*, J. Phys. Chem. 75, 1175 (1969)
21. *M.J.Bronskill, R.K.Wolff* şi *J.W.Hunt*, J. Phys. Chem. 53, 4201 (1969)
22. *M.J.Bronskill, R.K.Wolff* şi *J. W. Junt*, J. Phys. Chem., 53, 4211 (1969)
23. *J. U. White*, J. Opt. Soc. Am., 32, 285 (1942)
24. *M.S. Matheson*, J. Phys. Chem. 69, 53 (1965)
25. *M.C.Sauer*, Jr. şi *L.M. Dorfman*, J. Am. Chem. Soc. 86, 4218 (1964)
26. *R.L.Mc.Carthy* şi *A. MacLachlan*, Trans. Faraday Soc. 56, 1187 (1960)
27. *R. L. McCarthy* şi *A. MacLachlan* Trans. Faraday Soc. 57 1107 (1960)
28. *J.K.Thomas, S. Gordon* şi *E.J.Hart*, J. Phys. Chem. 68, 1524 (1964)
29. *J.A.Fitzpatrick, J.C.Hubbard* şi *W. J. Thaler*, J. App. Phys. 21, 1269 (1950)
30. *E. J. Hart, E. M. Fielden* şi*M. Anbar*, J. Phys. Chem. 71, 3993 (1967)

I. P. Informaţia c. 1838

Index 43.459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

SERIA A
VOLUMUL IX

11

NOEMBRIE 1972
RFCABV 9(11) 361—400 (1972)

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI—46, TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag.

Materiale prezentate la Consfătuirea de la Craiova, aprilie 1972

Prof. *N. Miu* și lector *Paula Mihai, Craiova*

1. Perfecționarea profesorilor de fizică din învățământul de cultură generală și de specialitate și relația Universitate—Inspectorat școlar 401

Lector *Paula Mihai* și prof. *N. Miu*, Craiova

2. Unele probleme referitoare la introducerea fizicii moderne în liceu 407

Lector *Lucia Burnea*, Craiova

3. Contribuția cursurilor de perfecționare la lărgirea orizontului și sferei preocupărilor profesorilor de chimie 410

Lecții moderne de fizică

Prof. *Viorica Spirea*, Ploiești

4. Studiul momentului forței 416

Pe teme de metodică

Prof. *Genoveva Stănciulescu*, București

5. Metodica predării oxizilor la cl. VII și a VIII 420

Prof. *Györffy Ianos*, Miercurea Nirajului

6. Metodica rezolvării unor probleme 426

Prof. *Ștefan Erdei*, Săcuieni

7. Problematizarea și programarea în predarea fizicii 429

Prof. *F. Koch* și *F. Cosma*, Cluj

8. Radiația β în cîmp magnetic 438

9. Noutăți din știință și tehnică 400

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, prof. univ.; **Teodor Bohățiel**, lector univ. **Simion Bulgărea**, prof. **Maria Codreanu**, prof.; **Andra Körner**, redactor: **Nicole Martalogu**, conf. univ. **Eleonora Mibul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof. **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

Seria A

Anul IX Nr. 11 noiembrie 1972

PERFECŢIONAREA PROFESORILOR DE FIZICĂ DIN ÎNVĂŢĂMÎNTUL DE CULTURĂ GENERALĂ ŞI DE SPECIALITATE ŞI RELAŢIA UNIVERSITATE-INSPECTORAT ŞCOLAR

Prof. *NICOLAE MIU*[1] şi lector *PAULA MIHAI*[2], Craiova

1. *Necesitatea perfecţionării continue a profesorului de fizică.* În condiţiile actuale ale dezvoltării vertiginoase a ştiinţei şi tehnicii, în general, şi a ştiinţelor fizicii în special, marcată prin consolidarea erei atomice şi deschiderea erei cosmice, cînd omul a reuşit să cunoască solul lunar şi face eforturi spre cunoaşterea celorlalte planete, se pun în faţa şcolii de toate gradele sarcini sporite.

— Modernizarea conţinutului învăţămîntului şi a tehnicilor didactice, proces în a cărui plină desfăşurare ne aflăm, trebuie să răspundă cît mai repede cerinţei adaptării şcolii la nevoile impuse de dezvoltarea economică, pe de o parte şi de progresele ştiinţei pe de altă parte. Procesul de adaptare a sistemului nostru de învăţămînt la cerinţele societăţii moderne reclamă stringent ridicarea şi lărgirea nivelului de pregătire a profesorilor chemaţi să pregătească tineretul pentru a trăi şi munci în condiţiile unei vieţi sociale din ce în ce mai complexe.

Pătrunderea fizicii în cele mai diferite ramuri ale economiei, ştiinţei, tehnicii militare, determină o creştere accentuată a cererilor de fizicieni cu o înaltă calificare pentru institute de cercetare, laboratoare uzinale, sau direct în producţie. Sporirea nivelului de pregătire în domeniul fizicii a devenit o problemă de mare actualitate nu numai pentru fizicieni ci şi pentru o categorie mult mai largă de specialişti, fizica fiind utilă numeroaselor specialităţi tehnice (electronica, electrotehnica, energetica, termotehnica, metalurgia etc.) şi avînd implicaţii directe cu multe alte discipline ca : chimia, biologia, medicina, geologia ş. a.

Ca urmare, întregul învăţămînt tehnic, universitar (de ştiinţele naturii) medical, militar, beneficiază în cea mai mare măsură de fizică şi se poate prevedea că aportul fizicii va creşte şi mai mult. Fizica nu oferă numai un anumit bagaj de cunoştinţe de specialitate ci, însuşirea ei, contribuie în mare măsură la formarea unei concepţii materialist dialectice asupra fenomenelor naturii şi interpretării lor.

De aceea modernizarea şi perfecţionarea predării fizicii la toate nivelele învăţămîntului contribuie în mod hotărîtor, prin formarea unor specialişti de înaltă calificare, la accelerarea progresului tehnico-ştiinţific, la dezvoltarea economiei naţionale. Necesitatea perfecţionării nivelului de pregătire al profesorilor de fizică este impusă nu numai de dezvoltarea vertiginoasă a ştiinţei, de volumul crescut de informaţie în acest domeniu, ci şi de faptul că nivelul de pregătire al acestora este heterogen. Absolventul

[1] Inspector şcolar, Inspectoratul Craiova
[2] Lector filiala Craiova a I.C.P.P.D.

facultății de fizică promoția 1955 a fost format, mai mult în spiritul fizicii clasice, noțiunile fizicii moderne făcîndu-și loc abia în cîteva cursuri speciale. Pe acea vreme semiconductorii abia făceau primii pași spre a depăși faza cercetărilor de laborator.

În aceste condiții el se deosebește ca nivel de formare de cel care a absolvit facultatea mai tîrziu (după 1965). Schimbările permanente ale planurilor și programelor de învățămînt din învățămîntul superior, cerute de adaptarea cursurilor la nivelul cuceririlor actuale ale științei, au determinat o diferențiere în pregătirea profesorilor de fizică.

În același timp, dezvoltarea și perfecționarea rețelei învățămîntului general (prin trecerea la școli generale de 10 ani) și liceal (prin diversificarea sa ca urmare a apariției liceelor de specialitate, predominînd cele cu profil tehnic, industrial) au impus măsuri de instruire, inițiere și perfecționare a profesorilor de fizică.

Măsurile s-au impus în special pentru profesorii care predau la clasele a IX-a și a X-a ale școlii generale precum și în licee.

În cele ce urmează ne vom referi asupra unor aspecte ale sistemului actual de perfecționare a profesorilor de fizică, vom prezenta unele rezultate obținute pe linia colaborării universitate-inspectorat școlar și vom încerca să facem unele propuneri pentru îmbunătățirea activității de viitor.

Activitatea de perfecționare a pregătirii profesionale se încadrează în contextul procesului de edificare a societății socialiste multilateral dezvoltate, constituind o latură esențială a politicii P. C. R.

Legea privind perfecționarea pregătirii profesionale a lucrătorilor din unitățile socialiste de stat, a stabilit, pentru prima dată în istoria țării noastre, sarcinile educației permanente a creatorilor de bunuri materiale și spirituale, racordînd sistemul național de perfecționare la planurile de perspectivă ale dezvoltării multilaterale a României. În același timp, legea oferă cadrul general de adaptare a sistemului național de perfecționare la specificul fiecărui domeniu de activitate — „Împrospătarea și îmbogățirea sistematică a cunoștințelor profesionale, în pas cu noile cuceriri ale științei și tehnicii, constituie o înaltă îndatorire patriotică a tuturor cetățenilor țării" și ca urmare și a celor cărora le este încredințată, spre formare, tînăra generație.

În cadrul procesului de perfecționare a profesorilor de fizică trebuie urmărit, în primul rînd, actualizarea și completarea cunoștințelor de specialitate, adăugînd noile descoperiri și interpretări ale fenomenelor fizice, sistemului de cunoștințe acumulat, cunoașterea tendințelor de dezvoltare și modernizare a învățămîntului fizicii în alte țări, metodele, procedeele și tehnicile moderne de învățămînt, deprinderea cu tehnicile experimentale moderne, cunoașterea materialului didactic nou și modului de folosire, cunoașterea interpretărilor filozofice contemporane ale noțiunilor și teoriilor fizice, ridicarea necontenită a nivelului politico-ideologic. Pe lîngă aceasta, profesorul de fizică trebuie să rămînă permanent în actualitatea proceselor tehnice ale industriei moderne spre a putea lega cît mai mult lecțiile de realitatea contemporană.

În întregul nostru sistem de învățămînt și, cu deosebire în predarea fizicii, predomină formativul asupra informativului, pentru că, esența sa este de a pregăti pe tînărul absolvent spre a fi capabil de a-și realiza împlinirile, de a folosi fructuos cunoștințele pentru creația științifică și tehnică, literară și artistică, pentru progresele sociale. Aceasta ne impune să educăm la tineri cutezanța gîndirii, spiritul inovator, al descoperirilor,

al cercetărilor, să călăuzim căutările, să orientăm căile și metodele prin care gîndirea omului își poate obține împlinirile.

Sistemul actual de perfecționare al cadrelor didactice, stabilit prin statutul personalului didactic, cuprinde, ca forme de perfecționare: cursurile de perfecționare (postuniversitare) organizare în cadrul universităților; cursurile de informare științifică ale societăților științifice; cursurile de pregătire a examenelor de grad; consfătuirile, sesiunile metodico-științifice, simpozioanele; cercurile pedagogice; activitatea metodică colectivă în cadrul colectivelor de catedră și consiliilor profesorale și studiul individual.

a) *Cursurile de perfecționare*, organizate în cadrul universităților prin filialele I.C.P.P.D., cu sau fără scoatere din producție, pe baza tematicii alcătuită de I.C.P.P.D., pentru profesorii care au obținut gradul definitiv, reprezintă forma cea mai eficientă asigurînd într-un timp relativ scurt (21 zile) o informare de specialitate și metodologică satisfăcătoare.

Programa actuală (ediția 1971) pentru studiul individual al profesorilor din învățămîntul de cultură generală asigură o privire științifică de ansamblu, făcînd loc cercetărilor celor mai recente asupra întregului domeniu al fizicii. De asemenea, realizează o informare judicioasă asupra căilor și metodelor de modernizare a predării fizicii avînd ca suport teoriile psihologice ale învățăturii. Pe lîngă aceasta, în programul cursului, sînt incluse și probleme politico-ideologice specifice științei fizicii (probleme filozofice ale fizicii contemporane, corelația dintre teorie și practică în știința contemporană, etc.).

Recomandările bibliografice pun accent pe lucrări de actualitate. Tematicile sînt alcătuite separat pentru profesorii de categoria I-a și a II-a.

Se simte însă lipsa unor astfel de programe pentru profesorii care predau în învățămîntul de specialitate, al căror specific trebuie luat în seamă.

Cu toate că statutul personalului didactic a stabilit ca aceste programe să fie puse la dispoziția profesorilor cu mult timp înaintea convocării la cursuri, acestea au fost aduse la cunoștința lor în momentul prezentării sau cu cîteva zile mai înainte. Faptul acesta a făcut ca activitatea desfășurată în perioada cu frecvență, să cuprindă mai multe cursuri și un număr restrîns de seminarii.

Cei aproximativ 100 profesori din județul Dolj, care au fost cuprinși la cursuri pînă în prezent, s-au declarat încîntați de calitatea expunerilor, noutatea și importanța celor prezentate, însă au afirmat că, pentru obținerea unor calificative bune și foarte bune la colocviul de încheiere a fost necesar un efort deosebit pentru însușirea celor predate, efort făcut într-un timp scurt, care putea fi evitat dacă se studia anterior bibliografia respectivă.

De aceea se impune îmbunătățirea sistemului de organizare a acestor cursuri. Considerăm că cea mai eficientă modalitate de desfășurare este următoarea: distribuirea tematicii cu cel puțin 1 an înainte, studierea bibliografiei, îndrumarea studiului individual de către personalul filialei I.C.P.P.D. sau cadrele universității cu eventuale consultații colective, iar în perioada cursului (care se poate reduce astfel la maximum 10 zile) să se prezinte cele mai actuale și mai dificile teme, să se clarifice și să se aprofundeze (lecții model, lucrări de laborator etc.) aspectele mai dificile.

Considerăm că este necesară şi o cuprindere diferenţiată a profesorilor (în funcţie de vechime şi experienţa în învăţămînt) deoarece aceia care au absolvit facultatea cu mulţi ani în urmă fac eforturi serioase spre a ţine pasul cu cei care sînt mai tineri, atunci cînd se prezintă cercetările şi realizările recente. În schimb, la problemele de metodică lucrurile se petrec invers. S-ar putea argumenta că în acest fel (cuprinderea nediferenţiată) se completează unii pe alţii, însă nu acesta este scopul pentru care se organizează aceste cursuri.

În activitatea de îndrumare şi control întîlnim frecvent profesori, în special absolvenţi ai Institutului Pedagogic de 3 ani şi chiar ai facultăţilor de 5 ani, promoţii recente, care întîmpină serioase greutăţi în organizarea şi desfăşurarea lucrărilor de laborator, a experienţelor demonstrative, la rezolvarea problemelor de fizică. De aceea socotim necesar ca, în cadrul cursului de perfecţionare, să se acorde mai multe ore acestor activităţi. În cadrul Filialei Dolj a I.C.P.P.D., cu fiecare serie de cursanţi s-au organizat cîte una, două lecţii deschise. Însă credem că nu este suficient numai atît. Se impune să se organizeze şi vizite de documentare în întreprinderi industriale, laboratoare de cercetare, etc. spre a familiariza pe profesori cu noutăţile pe care le ridică procesul de cercetare aplicativă şi cel de producţie.

Între Inspectoratul Şcolar Judeţean, Filiala I.C.P.P.D. şi conducerea facultăţii de fizică-chimie a existat o permanentă colaborare atît pe linia asigurării omogenităţii seriilor, a cunoaşterii preocupărilor şi rezultatelor obţinute de cursanţi cît şi pe linia îndrumării de specialitate.

Socotind că sistemul scoaterii din producţie pe perioada de 21 zile şi chiar mai mică, îngreunează procesul de învăţămînt, pledăm pentru organizarea etapei cu frecvenţă într-una din vacanţele şcolare.

b) *Cursurile de informare ştiinţifică*, organizate de centrele Universitare prin S.S.F.C., pe diferite teme actuale ale fizicii sau chimiei, reprezintă o formă pe care o apreciem ca deosebit de eficientă pentru informarea profesorilor cu ultimele noutăţi din domeniul respectiv. Ca participant la unul din aceste cursuri (cel organizat de Universitatea Iaşi cu tema „Fenomene fizice în semiconductoare") consider că forma actuală de organizare este bună, dar se mai poate îmbunătăţi prin mărirea numărului orelor de activităţi practice (lucrări de laborator). Ar fi bine dacă aceste cursuri de informare s-ar încadra într-un ciclu de teme, eşalonate pe mai mulţi ani, teme ce trebuie cunoscute cu cel puţin 1—2 ani înainte, spre a da posibilitate doritorilor să-şi planifice timpul astfel încît să nu le piardă. Privind perioada de organizare considerăm că cea mai nimerită ar fi vacanţa de primăvară. Întîmpinăm greutăţi la selecţionarea profesorilor pentru aceste cursuri, tocmai datorită faptului că, de cele mai multe ori, ele se suprapun peste sesiunile de examene din perioada încheierii anului şcolar, iar tematica acestora nu se cunoaşte mai din vreme.

Pe linia organizării acestor cursuri menţionăm că, începînd cu acest an, prin deschiderea cursului de vară organizat de Universitatea din Craiova, în oraşul Calafat, se crează condiţii pentru realizarea unei colaborări între Inspectoratul şcolar Judeţean şi Universitate şi în această direcţie.

Un loc important în programul acestor cursuri trebuie să-l aibă în continuare excursiile şi vizitele de documentare şi informare.

c) *Consfătuirile, simpozioanele şi sesiunile metodice ştiinţifice*, contribuie de asemenea, la perfecţionarea personalului didactic.

Reunind pe cei cu preocupări deosebite în cercetarea anumitor aspecte ale fizicii sau metodologiei de predare şi alături de aceştia, pe cei dornici să le cunoască preocupările şi să le transmită altora, aceste manifestări aduc un aport deosebit învăţămîntului fizicii prin popularizarea şi generalizarea experienţei pozitive. Fără a încerca să analizăm conţinutul acestor forme, subliniem faptul că prin concluziile reieşite din dezbateri a fost influenţat procesul de predare a fizicii, făcîndu-se loc metodelor şi tehnologiei moderne, îmbunătăţindu-se conţinutul unor programe şi manuale şcolare. Prin intermediul participanţilor la aceste acţiuni ale S.S.F.C. au fost făcute cunoscute, în şedinţele cercurilor pedagogice şi consfătuirilor cadrelor didactice, problemele discutate, aspectele mai importante care s-au ridicat precum şi concluziile reieşite.

d) *Cursurile de pregătire pentru examene de grad* şi desfăşurarea acestor examene reprezintă, de asemenea, o formă eficientă de ridicare a nivelului pregătirii de specialitate al profesorilor de fizică.

Prin studiul individual, consultaţiile acordate de cadrele universitare şi prin intermediul inspecţiilor speciale, în cadrul cărora se face o analiză amănunţită a celor ce urmează să se prezinte la examenele de grad, se consolidează şi se valorifică cunoştinţele însuşite în perioada studiilor.

Programele examenului de definitivare şi gradul II sînt cunoscute de cei în cauză chiar de la numirea în învăţămînt. Conţinutul lor solicită profesorului să fie mereu în actualitate, să-şi consolideze anumite cunoştinţe căpătate în facultate, să le treacă prin prisma experienţei proprii acumulată în procesul operării cu ele. De asemenea, cer din partea candidaţilor la aceste examene aprofundarea noţiunilor de pedagogie şi metodică (în special la gradul al II-lea) şi a celor politico-ideologice. Nivelul exigenţei, manifestată la aceste examene, constituie garanţia sigură a ridicării pregătirii profesorilor de fizică.

Între Inspectoratul Şcolar şi Universitate trebuie să se realizeze o strînsă legătură atît prin documentele de inspecţii speciale, prin discutarea şi analizarea rezultatelor la examene, cît şi prin urmărirea evoluţiei activităţii profesorilor respectivi după trecerea acestor examene.

Rezultatele nesatisfăcătoare obţinute la examenele de definitivare şi gradul II de către un număr însemnat de candidaţi datorate, în mare măsură, slabei pregătiri a acestora în facultăţi precum şi condiţiilor de studiu şi informare de care dispun şi, uneori, supraîncărcării cu sarcini obşteşti şi administrative, trebuie să ne dea de gîndit. Să avem în vedere constatarea reală că instituţiile de învăţămînt superior nu dau tînărului absolvent tot ceea ce îi trebuie pentru a-şi exercita, în bune condiţiuni, profesia (această constatare este subliniată în repetate rînduri de către preşedinţii şi profesorii examinatori din comisiile de examinare). De aceea, atît programele cursurilor de perfecţionare cît şi cele de definitivare şi gradul II, trebuie să pună accent pe aspectul formativ, asigurînd în primul rînd cunoaşterea de către profesori a materiei pe care o predau şi abilitatea de a rezolva anumite probleme teoretice şi practice.

În scopul înlesnirii informării profesorilor la locul de muncă s-ar putea organiza deplasarea la judeţe a personalului angajat în acţiunea de reciclare, spre a da consultaţii celor ce studiază individual. Menţionăm că Inspectoratul Şcolar Judeţean Dolj, împreună cu conducerea facultăţii de Fizică-Chimie şi catedrei de fizică, a organizat o serie de activităţi între care amintim : deplasarea cadrelor universitare în oraşele mai mari (Băileşti, Calafat) spre a prezenta conferinţe, acţiuni în cadrul corpului

didactic (la solicitările noastre făcute în urma consultării cu cadrele didactice, cadrele universitare au ținut expuneri privind aspecte ale fizicii moderne), organizarea concursului pentru ocuparea catedrelor vacante în municipiul Craiova, prilej cu care am cunoscut adevăratul nivel de cunoștințe al profesorilor prezentați la aceste concursuri, etc.

În anul școlar 1970—1971, la nivelul Municipiului Craiova s-au organizat, în cadrul cercului de învățămînt ideologic al profesorilor de fizică, expuneri privind problemele filozofice ale fizicii contemporane, prezentate de profesorul universitar Dr. Olivu Gherman.

Considerăm că asemenea expuneri și dezbateri trebuie organizate și în viitor, ele avînd menirea să clarifice problemele filozofice și să dezvolte concepția materialist dialectică a acelor în cauză.

e) *Cercurile pedagogice* organizate pe județ, desfășoară o activitate diferențiată, în funcție de pregătirea profesorilor (prof. categoria a II-a de fizică-chimie, pe centre, iar cei de categoria I-a pe specialități) constituind forme corespunzătoare pentru realizarea schimbului de experiență, informarea curentă de specialitate, dezbaterea unor aspecte concrete pe care le ridică practica la catedră. Pentru informarea profesorilor din localitățile îndepărtate, am organizat, trimestrial, deplasarea specialiștilor de la catedra de fizică, care au prezentat conferințe (Băilești, Calafat etc.). Cadrele didactice au apreciat ca bună această formă.

f) Un rol deosebit în activitatea de perfecționare a profesorilor îl joacă *activitățile metodice colective din școală-comisiile metodice, colectivele de catedră* și *consiliile profesorale.*

În această direcție considerăm că trebuie să facem să crească rolul acestor forme prin îmbunătățirea programului de studiu individual și controlul îndeplinirii lui de către director, care are datoria de a crea condiții corespunzătoare de informare, dar și de a urmări cum se aplică în cadrul lecțiilor cele învățate, ce efect au acestea asupra calității lecțiilor și nivelului de pregătire al elevilor. Studiul individual constituie baza procesului de perfecționare a profesorului de fizcă, deoarece acesta presupune efortul continuu.

În ultimul timp s-au editat multe lucrări de specialitate și s-au tradus unele din cele mai valoroase cursuri de fizică, bibliotecile dispun de un bogat fond de lucrări de fizică în limba română și în limbi străine. Am putea spune că s-au creat condiții pentru o informare corespunzătoare a profesorilor de fizică. Buletinele informative, revistele periodice și celelalte lucrări editate la nivel central constituie o bază suficientă pentru studiul individual. Deoarece numărul profesorilor care consultă și folosesc, pentru informarea lor curentă lucrări în limbi străine este redus, credem că n-ar fi lipsit de importanță să se organizeze însușirea cel puțin a unei limbi moderne de largă circulație de către fiecare profesor, atît în cadrul facultății cît și după absolvirea ei.

În această direcție există condiții optime: cursurile organizate în cadrul universităților populare, lecțiile de la radio și televiziune, cursurile practice tipărite, etc. Trebuie să urmărim însă ca în fiecare școală să se asigure condițiile reale acestui studiu.

În concluzie, apreciem că atît formele de perfecționare a profesorilor organizate prin instituțiile de învățămînt superior, cărora li s-au conferit prin lege sarcini în domeniul reciclării cadrelor didactice, cît și cele inițiate la nivelul județului sau al școlii trebuie să-și aducă un aport mai mare în ridicarea nivelului de pregătire a profesorilor, prin asigurarea unui con-

ţinut corespunzător acţiunilor de perfecţionare, asigurarea unei coordonări corespunzătoare a acestora spre a crea condiţii acomodării dirijate, controlate şi verificate a personalului didactic la scopurile educaţionale contemporane, la obiectivele modernizării învăţămîntului, în general.

UNELE PROBLEME REFERITOARE LA INTRODUCEREA FIZICII MODERNE ÎN LICEU

Lector *PAULA MIHAI* şi prof. *N. MIU*, Craiova

Modernizarea predării fizicii în şcoala generală şi liceu, reprezintă o verigă deosebit de importantă a acţiunii de modernizare a învăţămîntului.

Fizica, obiect de învăţămînt legat nemijlocit de tehnică, trebuie să reflecte toate realizările importante obţinute în domeniul ştiinţei şi tehnicii şi să contribuie alături de celelalte obiecte de învăţămînt la formarea unei concepţii materialist-dialectice unitare asupra realităţii înconjurătoare.

Noţiunea de modernizare a fizicii are o sferă foarte largă de acţiune, ea trebuie să cuprindă deopotrivă, atît modernizarea conţinutului fizicii cît şi o tehnologie modernă a predării acestui conţinut nou.

În ceea ce priveşte acţiunea concretă de realizare a modernizării predării, şi la fizică ca şi la celelalte obiecte de învăţămînt se utilizează în funcţie de posibilităţile concrete una din următoarele formule :

1) modernizarea concepută ca o suită de adaptări şi corective aduse mereu unui sistem suplu şi deschis spre noutăţi.

2) modernizarea concepută ca o transformare radicală care, odată efectuată, să asigure stabilitatea relativă a sistemului pentru o perioadă mai îndelungată.

Se pare că profesorii de fizică din ţara noastră antrenţai în procesul de modernizare a predării fizicii în şcoala generală şi licee au optat pentru prima formulă.

Un exemplu elocvent îl constituie programa şi manualul pentru anul I de licee care răspund întru totul unei cerinţe majore a învăţămîntului contemporan, care nu se rezumă la a transmite cunoştinţe ci îi învaţă pe elevi „cum să înveţe". Autorii manualului cunoscînd acest fapt nu s-au limitat la o simplă prezentare a cunoştinţelor fizice, ci au dat indicaţii valoroase referitoare la cunoaşterea metodelor prin care aceste cunoştinţe sînt cercetate şi însuşite (exemplu — metoda inductiv-experimentală, metoda modelării şi altele). Manualul are şi alte merite pe care nu ne propunem să le analizăm în referat.

Am constatat de asemenea, cu ocazia inspecţiilor speciale efectuate pentru acordarea dreptului de a se prezenta la grade şi definitivate, că profesorii au pornit o campanie largă cu rezultate deosebite pentru aplicarea procedeelor celor mai moderne în predare : predarea problematizată, utilizarea metodei modelării şi a descoperii dirijate etc.

În ceea ce privește cea de a doua formulă a modernizării predării fizicii vom aminti două dintre propunerile mai noi făcute de fizicieni cu renume mondial și anume :

— prof. Michel Billeroy de la colegiul „Louis le Grand" Paris, vorbind despre învățămîntul fizicii în Franța face următoarele constatări și propuneri: „Actualmente învățămîntul fizicii începe cu capitolele mecanică și calorimetrie, discipline greoaie și „aprioric" puțin atrăgătoare. Astăzi copiii trăiesc într-o lume a electricității. Or, electricitatea folosește și matematicile elementare. Am putea începe mult mai devreme printr-o inițiere experimentală în studiul curentului continuu".

— și o propunere deosebit de interesantă care merită să fie discutată, făcută de Sran Sikjaer președintele „Grupului internațional de cercetări cu privire la învățămîntul fizicii", (G.I.R.E.P.). „Integrarea fizicii moderne în programele școlare, astfel încît ea să poată clarifica și problemele fizicii clasice este cred, cea mai actuală problemă a învățămîntului. Elevii trebuie ajutați să înțeleagă că „perioada mecanică" s-a încheiat definitiv, chiar dacă lor li se mai prezintă, în unele cazuri, modelele mecanicii. Obiectivul central este de a-i determina pe tinerii din licee să gîndească cu conceptele fizicii moderne și ca ei să facă aceasta în mod conștient".

O formulă ideală de realizare a acestei cerințe ar fi introducerea elementelor esențiale ale mecanicii relativiste și mecanicii cuantice în liceu. Privind prin această optică, ar trebui să începem redactarea manualelor și programei de la anul IV în jos, și după ce ne-am fixat un anumit procent pentru fizica modernă, să vedem în limita orelor prevăzute de programă cîte ore mai rămîn pentru fizica clasică (noțiuni necesare înțelegerii fizicii moderne) și ce interpretare îi dăm. Problema ar fi prea frumoasă pentru a putea fi realizată. S-ar desfința groapa de potențial existentă între licee și facultăți, ar rămîne o mică treaptă neobservabilă așa cum este între școli generale și licee, peste care elevii ar trece fără dificultate. Ne izbim însă, de același stîlp pe care l-am mai întîlnit și cu alte ocazii și anume : insuficienta pregătire a elevilor din punct de vedere matematic, fapt care nu permite înțelegerea relativității generalizate și a mecanicii cuantice de către elevii anului IV — nici măcar a elementelor lor esențiale, pentru că problema rezolvării lor totale nici nu se pune (facultatea ce le-ar mai putea oferi?).

Aceasta nu înseamnă că trebuie să renunțăm total la introducerea fizicii moderne în liceu. Pregătirea matematică și fizică din anii precedenți permit introducerea elementelor esențiale ale realativității restrînse în liceu și pregătirea terenului pentru înțelegerea mecanicii cuantice din facultăți.

Ne propunem să analizăm în referatul de față posibilitatea introducerii mecanicii relativității restrînse și perspectivele pe care le deschide studierii celorlalte capitole ale fizicii.

Cadrele didactice sînt suficient de pregătite pentru predarea relativității în liceu. De ani de zile sînt incluse ore (și destule!) în programele cursurilor de perfecționare, la examenele de definitivat și grade, care devin perisabile, nefolosindu-le în predare. Mulți profesori ar fi dispuși să sfarme edificiul „mecanicist" clădit cu mare migală în ceialți ani de studiu, dar cum este posibil să se facă lucrul acesta în patru ore prevăzute de programă și indicîndu-le elevilor un material de șapte pagini și șapte probleme din manualul de clasa a XII-a?

Pentru înțelegerea elementelor esențiale ale mecanicii relativiste restrînse sînt necesare cel puțin 16 ore de predare care să cuprindă următoarele capitole :

— Principiile relativității (generalității).

— Transformările Lorentz.

— Transformarea timpului (exemplul ceasului cu lumină)

— Contracția Lorentz.

— Dinamica relativistă (legile mecanicii relativiste)

— Echivalența între masă și energie (experințe în care materia este transformată total în energie, de exemplu reacțiile nucleare).

— Transformarea vitezelor (cazul general și cazuri particulare).

— Masa relativistă (exemplu : ciocnirea neelastică a două corpuri de aceeași masă).

— Energia relativistă (exemplu, energia eliberată prin fisiune).

Am amintit numai cîteva exemple, unele care ajută înțelegerea modului nou de interpretare a fizicii, altele care certifică justețea principiilor mecanicii relativiste. Introducerea lor este foarte necesară, elevii fiind obișnuiți cu deducerea anumitor legi pe cale experimentală, fie cu verificarea consecințelor principiilor fizice studiate în viață.

În încheierea capitolului li se vorbește elevilor despre importanța filozofică a mecanicii relativiste și despre caracterul limitat al cunoașterii umane. O înțelegere mai exactă a imaginii noi asupra lumii introdusă de mecanica relativitsă poate fi formată, dacă mecanica relativistă se predă înaintea opticii și se introduce la optica fotonică efectul Compton tratat relativist. (Cel puțin ca o problemă). Utilizîndu-se două din relațiile deduse de Einstein pe baza teoriei relativității și anume :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{și} \quad E = mc^2$$

și aplicîndu-se în cazul fotonilor se găsește masa fotonului $m_\gamma = \frac{h\nu}{c^2}$, care introdusă în formula impulsului duce la două relații care stau la baza explicării efectului Compton : $p_\gamma = \frac{h}{\lambda}$ și $E_\gamma = \frac{hc}{\lambda}$.

De asemenea, fixarea noțiunilor de mecanică relativistă poate fi făcută și la fizica atomică prin explicarea structurii fine a liniilor spectrale introdusă de Sommerfeld. El și-a dat seama că datorită vitezelor foarte mari ale electronului care se mișcă în jurul nucleului, variației de viteză trebuie să-i corespundă o variație a masei electronului, deloc neglijabilă, în conformitate cu formula relativistă a masei dată de Einstein. Se putea prevedea deci și fără calcul că la o examinare foarte atentă a unei linii spectrale trebuiau să fie observate mai multe linii în locul uneia singure. Această structură fină, a liniilor spectrale trebuia să provină din faptul că cele n orbite de forme diferite, rezultate din calculul vechi, corespunzînd aceleiași valori E_n a energiei, fiind diferit afectate de efectul relativist, urmau să fie înlocuite cu n orbite avînd energii diferite En_r, n_φ ($n_\varphi = 1,2, \ldots n$; $n_r = n - 1, \ldots 0$)

Pentru a se putea convinge, Sommerfeld a refăcut întregul calcul al orbitelor și al energiilor ținînd seama de formula relativistă a maselor. Rezultatul obținut de el se reduce la înlocuirea lui $n = n_r + n$, din formula $E_n = -\frac{Rh}{n^2}$ prin $n_r + \sqrt{n_\varphi^2 + \alpha^2}$, unde $\alpha = \frac{2\pi e^2}{hc}$, este constanta structurii fine, care a jucat un rol esențial în teoria relativistă a interacțiilor electromagnetice $\left(\alpha \approx \frac{1}{137}\right)$.

Este interesant de observat că variația masei cu viteza, în afară de faptul că ridică degenerarea în raport cu forma orbitei, realizînd o corespondență biunivocă între formele posibile ale orbitei și valorile posibile ale energiei, implică și o complicare a formei orbitelor. În locul orbitelor eliptice avem de a face cu orbite în formă de rozetă. Rezultatele calculelor relativite ale lui Sommerfeld au fost confirmate parțial : structura fină există așa cum au dovedit rezultatele experimentale ale multor spectroscopiști, printre care amintim pe cele ale lui Michelson, dar numărul exact al liniilor spectrale găsite experimental diferea de cel prezis. Totuși teoria relativistă a lui Sommerfeld a lămurit unele probleme importante. Astfel s-a dovedit, de exemplu, că degenerarea provenită din forma orbitelor nu este riguroasă, ci numai aproximativă, provenind din imprecizia calculului nerelativist. Ea se ridică dacă se ține seama de variația masei cu viteza. Degenerarea legată de orientarea orbitei în spațiu rămîne valabilă și în cazul calculului relativist exact, fiind deci o proprietate esențială a atomului, precizare care a canalizat cercetările de mai tîrziu pe un drum sigur. Introducerea constantei fine a lui Sommerfeld presupune o dezvoltare corespunzătoare a capitolului „modele atomice".

Exemplele de mai sus (și sînt numai cîteva din cele care se pot da) vor să scoată în evidență perspectiva pe care o aduce studierea mecanicii relativiste în liceu : Ea privește fenomenele deja cunoscute de elevi, într-o lumină nouă și dă posibilitate introducerii și explicării fenomenelor noi cu care se întîlnesc și le studiază amănunțit în facultate.

CONTRIBUȚIA CURSURILOR DE PERFECȚIONARE LA LĂRGIREA ORIZONTULUI ȘI SFEREI PREOCUPĂRILOR PROFESORILOR DE CHIMIE

Lector *LUCIA BURNEA*, Filiala I.C.P.P.D. Craiova

În orînduirea socialistă făurirea omului multilateral dezvoltat devine un fenomen de masă, o necesitate vitală, o constantă majoră a procesului complex de edificare armonioasă a noii orînduiri sociale, a noii civilizații.

Societatea socialistă multilateral dezvoltată, asigurarea condițiilor pentru trecerea la comunism în țara noastră, necesită crearea unei industrii și agriculturi puternice, dezvoltarea științei, ridicarea învățămîntului care presupun deci făurirea unei puternice baze pentru progresul rapid al forțelor de producție, și totodată, schimbări radicale în structura societății, în relațiile sociale din țara noastră. În același timp aceasta

presupune dezvoltarea conştiinţei socialiste, ridicarea nivelului general de cultură al întregului popor, aceasta concretizîndu-se în ultimile hotărîri ale Comitetului Executiv privind îmbunătăţirea activităţii de formare a omului de mîine, constructor al socialismului şi comunismului, a omului multilateral dezvoltat.

La îndeplinirea acestor sarcini majore de formare a omului multilateral dezvoltat şcoala românească de toate gradele trebuie să-şi aducă o contribuţie hotărîtoare.

Modul nou sub care se desfăşoară în prezent activitatea şcolară la toate nivelele îl constituie străduinţa tuturor factorilor de răspundere, de a aplica neabătut politica înţeleaptă a partidului în domeniul învăţămîntului.

Programul elaborat de Congresul al X-lea al P.C.R., propunerile de măsuri prezentate de tov. Nicolae Ceauşescu Comitetului Executiv, expunerea secretarului general al partidului la Consfătuirea de lucru a activului de partid din domeniul ideologiei şi activităţii politice şi cultural-educative, precum şi indicaţiile primite în cadrul Consiliului învăţămîntului superior, constituie în adevăr un izvor generos de idei profund regeneratoare în domeniul îmvăţămîntului.

Ca şi toate celelalte sectoare de activitate ale ţării, întreaga şcoală românească găseşte în aceste idei, fundamentele ei spirituale prezente şi viitoare, care o vor face demnă de chemarea ce o are, aceea de a contribui la opera de clădire spirituală a omului nou.

Fiecare etapă a construcţiei societăţii noastre a fost legată de importante acţiuni în domeniul instruirii şi educării populaţiei. Date statistice situează ţara noastră într-o poziţie avantajoasă în ansamblul ţărilor dezvoltate.

Experienţa celor 4 planuri cincinale formează ideea că printre cele mai importante investiţii care se pot face pentru dezvoltare societăţii este investiţia în om, pentru ridicarea nivelului său multilateral de pregătire şi calificare.

Statul nostru investeşte mult în învăţămînt. Se acordă între 5—10% din venitul naţional, fapt care situează ţara noastră în zona cheltuielilor considerabile pe care le întreprind statele europene avansate.

Sistemul naţional de educaţie permanentă, instituţionalizat odată cu votarea de către Marea Adunare Naţională a Legii privind perfecţionarea pregătirii profesionale a lucrătorilor din unităţile socialiste, se racordează pe deplin planurilor de perspectivă ale dezvoltării multilaterale a societăţii noastre socialiste.

Ofensiva perfecţionării se desfăşoară cu începere de la instruirea la locul de muncă sub controlul şefului direct pînă la cursurile organizate în centrele de perfecţionare a pregătirii cadrelor, de la programele individuale de perfecţionare cu verificare periodică a cunoştinţelor, pînă la stagiile de practică şi specializare în ţară şi străinătate, de la învăţămîntul postuniversitar şi pînă la doctorat.

Activitatea de reîmprospătare a cunoştinţelor şi de desăvîrşire a pregătirii profesionale devine, tot mai pregnant, o constantă a vieţii sociale româneşti.

Perfecţionarea continuă a personalului didactic este necesară datorită rolului social deosebit al profesorului. Determinarea cea mai concretă a acestui rol constă în faptul că profesorul pregăteşte tînăra generaţie.

Este cunoscut de asemenea că pentru a îndeplini acest rol foarte complet, profesorul trebuie să învețe el însuși întreaga sa viață, de aici și necesitatea „educației permanente" se înscrie în acest context.

De îndată ce profesorul încetează să mai învețe, el pierde calitatea de a mai învăța pe alții, el încetează să mai fie educator. Sub acest aspect trebuie privită forma perfecționării postuniversitare.

Această acțiune nu poate fi separată de obiectivul fundamental al procesului de învățămînt, acela de pregătire a tineretului școlar — a viitorilor cetățeni capabili să desfășoare o activitate creatoare multilaterală, în stare să asigure dezvoltarea și pe mai departe, a culturii noastre socialiste.

În legătură cu specificul acestei noi forme de învățămînt, perfecționarea post universitară a personalului didactic, vizînd formarea viitorilor cetățeni ai României socialiste, are drept obiectiv aspecte de conținut și de metodică, menite să dezvolte la elevi aptitudinea de a învăța, a se perfecționa în mod independent după absolvirea școlii.

Ca o consecință a acestui mod de a aborda problema perfecționării postuniversitare, acțiunile de perfecționare au trebuit să promoveze căutări noi atît în elaborarea programelor de conținut științific necesar studiului individual al cadrelor didactice cît și aspectele metodice ale obiectului de specialitate.

Datorită acestui fapt a fost necesar chiar în cursul aceluiași an să se producă modificări de programe. Prin parcurgerea lor în cadrul cursurilor de perfecționare s-a urmărit o informare științifică de specialitate la zi, existînd în majoritatea cazurilor o corelație între necesarul cerut de manualele de chimie elaborate de Ministerul Educației și Învățămîntului și aspectul modern al problemelor de metodica specialității.

A existat preocuparea permanentă de realizare a saltului calitativ în transmiterea informației științifice și asimilarea cunoștințelor de toate cadrele didactice care au participat la cursuri cît și formarea acestora pentru prezentarea materiei manualelor școlare în „optica didacticei noi", de a-i pregăti cît mai bine pe elevi să participe activ la procesul de dobîndire a cunoștințelor.

Conținutul științific al programelor pentru profesorii categ. I și II s-au diferențiat într-o mică măsură, majoritatea temelor de bază fiind comune.

Astfel, la categ. I s-a diferențiat prin temele : „Elemente de cinetică chimică", „Metode de analiză cantitativă și calitativă", „Procese primare și secundare de transformare a materiilor prime în produse finite", „Catalizatori și procese catalitice în industria chimică și de prelucrare a țițeiului" iar la categ. II prin „Legile chimiei", „Legile gazelor", „Soluții, disociația electrolitică, electroliți" și „Progrese în industria materialelor de construcții".

Formele de activitate folosite în cadrul desfășurării cursurilor au constat din prelegeri, seminarii, lucrări de laborator, dezbateri în cadrul anumitor teme pregătite în prealabil de cursanți.

Desfășurarea cursurilor în condiții optime a antrenat în susținerea temelor, specialiști cu experiență la catedră și în cercetarea științifică, din cadrul universității.

Contribuția cursurilor de perfecționare la lărgirea orizontului și sferei preocupărilor profesorilor de chimie este deosebit de importantă, analizînd obiectivele urmărite.

Ca urmare a faptului că la obiectul chimie s-au produs salturi calitative mari în privința conținutului, prin elaborarea manualelor de către acad. prof. C. Neniţescu, a apărut necesitatea tratării unor teme în cadrul programei cursurilor, pentru aprofundarea unor noțiuni de bază ale chimiei cu spirit modern și la un nivel ridicat ca : structura atomului în lumina mecanicii cuantice, legătura chimică, relații între structură și proprietăți atît în cadrul compușilor anorganici cît și organici, tipuri de reacții chimice în chimia anorganică și organică, mecanismele de reacție, polimeri organici, biocatalizatori.

Conținutul prelegerilor a determinat elucidarea unor probleme mai dificile atît prin audierea lor cît și prin obligativitatea studierii unei bibliografii mai ample pentru participarea activă în cadrul seminariilor și după aceea în cadrul colocviului final. Expunerile clare, folosind mijloace moderne adecvate au făcut posibilă însușirea capitolelor tratate.

O formă de stimulare a asimilării materialului predat în cadrul cursurilor postuniversitare, s-au concretizat prin hotărîrea ca la terminarea acestora să se susțină colocvii cu calificativ, în baza cărora se va stimula trecerea de la o gradație la alta, la obținerea vechimii respective.

Pentru asigurarea eficienței metodice în transmiterea cunoștințelor dobîndite în cadrul cursurilor de perfecționare s-au organizat seminarii, dezbateri cu profesori categ. II asupra modului de predare a unor capitole cheie, cuprinse în manualul de clasa a IX-a a căror conținut științific fusese străbătut în cadrul cursului, dar în a cărei formă de realizare metodică existau încă neclarități

Capitolele ce urmau a fi dezbătute au fost indicate la începutul cursului, de exemplu : structura atomului, legătura chimică, halogeni, fixîndu-se colectivele de lucru pentru elaborarea referatelor care urmau să traseze liniile directoare pe baza cărora să se poarte discuțiile, avîndu-se în vedere în mod deosebit ca participanții colectivului să predea la clasele respective, pentru a fi cunoscători direcți ai programei și manualului.

Aceste lucruri au fost sesizate pe plan național încît manualul de chimie pentru clasa a IX-a a fost reeditat într-o formulă îmbunătățită din punct de vedere metodic, respectîndu-se nivelul ridicat al conținutului științific.

S-a urmărit de asemenea ca în cadrul lucrărilor de laborator pe lîngă experiențele cerute de programa claselor la care se predă, să se efectueze și unele experiențe ce s-ar putea executa în cadrul cercului de chimie, avîndu-se în vedere generalizarea învățămîntului de 10 ani.

Pentru profesorii de categ. I-a tematica cursurilor a fost mai aproape de nivelul lor de pregătire și de necesarul cunoștințelor în tratarea problemelor la clasă. Conținutul programelor de metodică a fost axat în prima etapă pe prezentarea unor capitole mai dificile la care se urmărea atît elucidarea problemelor teoretice cît și a celor practice în tratarea lor metodică la clasă.

Capitolele avute în studiu s-au referit la : „zaharuri", „soluții", „sisteme coloidale", „compuși organici și neorganici ai azotului", „folosirea mijloacelor audio vizuale în cadrul orelor de chimie", și a metodologiei organizării lucrărilor de laborator în cadrul învățămîntului mediu".

S-a insistat în mod deosebit asupra efectuării unor lucrări practice în cadrul capitolelor tratate de chimie organică, pentru a demonstra că se pot efectua tot atît de ușor experiențe din domeniul chimiei organice

— aceasta datorită faptului că din sondajele făcute în cadrul şcolilor cu ocazia efectuării inspecţiilor speciale, s-a constatat că volumul experienţelor demonstrative în cadrul orelor de chimie organică se realizează într-o mai mică măsură. Este de remarcat faptul că dacă în orientarea cursurilor postuniversitare tematicile ştiinţifice au avut o mai mare stabilitate, nu acelaşi lucru s-a întîmplat cu tematicile de metodică.

Întrucît „informarea ştiinţifică" nu constituie un scop în sine se consideră necesar ca pentru practica „transmiterii asimilării" cunoştinţelor este tot atît de important ca noile cuceriri ale ştiinţei să fie supuse unei prelucrări corespunzătoare din punct de vedere logico-didactic.

Implicaţiile aduse de o „informare ştiinţifică" în domeniul restructurării conţinutului învăţămîntului constau în prelucrarea acestor informaţii astfel încît ele să nu supraîncarce memoria elevilor fără a promova dezvoltarea lor intelectuală şi morală.

Căutarea şi descoperirea adevărului de către omul de ştiinţă nu este tot una cu *transmiterea* acestor adevăruri de către profesor în vederea asimilării de către elevi. Nu numai ce transmitem dar şi cum transmitem şi mai ales cum asimilează elevul cele transmise constituie problema cheie a acţiunilor de perfecţionare pedagogică şi metodică.

De aceea în cadrul noului an şcolar programele de metodica specialităţii au abordat teme cu privire la înarmarea profesorului cu cunoştinţe moderne de metodică a specialităţii ca : instruirea programată, modelarea, problematizarea etc.

Pentru a elabora şi realiza astfel de lecţii menite a contribui la perfecţionarea pedagogică a profesorilor s-au făcut informările teoretice, cu exemplificări din cadrul specialităţii în orele de metodică şi s-au organizat lecţii practice în cadrul şcolilor cu cadre participante la cursuri, predarea lecţiilor făcîndu-se de profesorii participanţi din localitate, la clasele la care aceştia predau.

Metoda care urma să fie abordată era determinată de tema prevăzută în planificarea calendaristică a clasei pentru data fixată. Planul lecţiilor s-a dezbătut în colectivul profesorilor care predau la aceleaşi clase, deci care cunoşteau bine conţinutul programelor şi manualelor, astfel încît planurile elaborate să adopte cele mai adecvate soluţii.

S-au ţinut lecţii la clasa a IX-a şi a XII-a la liceele nr. 3 şi nr. 5 din localitate de către tov. prof. Munteanu şi Colesnicov). Lecţiile ţinute s-au axat pe problematizare şi modelare.

Discuţiile purtate în cadrul analizei lecţiilor au venit să întregească indicaţiile teoretice din expunerea cursului şi să convingă de eficacitatea ideilor şi metodelor dezbătute în cadrul tematicii cursului, punîndu-se accentul pe activizarea gîndirii logice a elevilor.

Desigur cursurile postuniversitare nu-şi vor atinge pe deplin scopul dacă perfecţionarea se va termina odată cu terminarea cursului. Dealtfel din discuţiile la aceste cursuri a reieşit că forma aceasta de perfecţionare este doar o formă primară care trebuie să fie continuată şi să se transforme în autoperfecţionare. Aceasta nu înseamnă că nu au existat greutăţi în modul de organizare şi în modul de lucru cu cadrele participante la perfecţionare.

Una dintre greutăţile majore întîmpinate de cursanţi este aceea a lipsei cunoaşterii din plin a programelor şi bibliografiei cursurilor pentru informarea prealabilă şi procurarea cursurilor de specialitate şi metodica specialităţii.

Pe această linie s-a realizat mai puțin, deoarece forma de multiplicare prin scrierea programelor la mașina de scris pentru toate disciplinele din cadrul filialei și pentru toți participanții la cursuri era greu de realizat.

În etapa actuală se acordă sprijin din partea universității pentru multiplicarea acestora prin serografiere.

— De asemenea dublul profil al absolvirii unor facultăți și practicarea ulterioară în mod disciplinat a uneia din discipline, atrage după sine o formă preferențială pentru una din ele, care nu întotdeauna coincide cu specialitatea cursului pe care-l frecventează.

Se poate trage concluzia că lipsa de omogenitate în rîndul participanților la cursuri ridică probleme pentru cei care predau.

Formele perfecționării continue la locul de muncă cu rezultate fructuoase pentru participarea la specializare includ cercetarea științifică sub îndrumarea pedagogică și științifică a cadrelor didactice universitare și a cercetătorilor din institutele de specialitate.

Munca de cercetare trebuie înțeleasă și ca un scop al autoperfecționării, al autodepășirii. Cercetarea științifică desfășurată în școală este cel mai bun remediu împotriva rutinei. Prin cunoașterea noutăților pedagogice pe plan mondial și selectarea în funcție de cerințele școlii românești și a condițiilor școlii, se pot întreprinde experimente valoroase.

Cursurile de perfecționare își aduc contribuția în mod direct la ridicarea nivelului științific și metodologic al cursanților prin participarea acestora la diferite forme de activitate din cadrul cursurilor, prin discuțiile purtate cu cadrele didactice universitare, prin schimbul de experiență realizat cu colegii de aceeași specialitate, prin forma de studiu impusă de cerințele programei.

Ca urmare a participării la cursurile de perfecționare numărul celor înscriși la gradul II a crescut în mod simțitor.

Sfera preocupărilor cadrelor didactice s-a extins, urmărindu-se pe lîngă stăpînirea cunoștințelor științifice și aprofundarea unei metodologii a specialității pentru transmiterea acestora într-o formă logică și accesibilă, în funcție de conținutul programelor și manualelor.

Ca urmare a frecventării cursurilor postuniversitare profesorii de chimie au inițiat experiențe în legătură cu metodele și procedeele dezbătute în cadrul cursurilor. Formele de abordare a lecțiilor se realizează în scopul educației logice a gîndirii elevilor ținînd seama de principiile pedagogice. Adaptarea la condițiile noi se face în mod conștient.

Cursurile de pedagogie audiate le-au dat posibilitatea să fie ajutați îndeaproape în creșterea rolului educativ al lecțiilor.

Orele de științe sociale au ridicat nivelul ideologic al cursanților.

Desigur contribuția cursurilor de perfecționare postuniversitare (reciclarea) poate fi considerată ca o etapă a „educației permanente" și principala acțiune educativă prin care se realizează educația adulților

Educația permanentă înseamnă că educația omului nu se termină odată cu sfîrșitul școlarizării, ci se continuă tot timpul vieții pentru a satisface exigențele mereu crescînde ale societății.

SCHEMA DE DESFĂȘURARE A UNEI LECȚII, DESTINATĂ STUDIULUI „MOMENTULUI FORȚEI"

Prof. *VIORICA SPIREA* Lic. 6 Ploiești

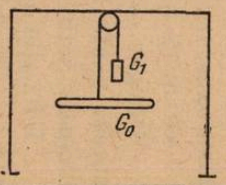
Materialul necesar: — greutăți între 1 gr...200 gr., — bare de metal (lemn) divizate în cm. și prevăzute cu orificii pentru suspendarea greutăților (bare folosite la compunerea forțelor paralele); — suporturi dreptunghiulare prevăzute cu orificii pentru fixarea scripeților și a barei; — sfoară și cîrlige.

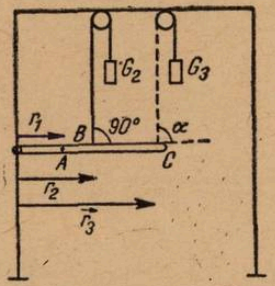
Notă: Pentru desfășurarea lecției în condiții optime și cu eficiență maximă ea trebuie pregătită din timp.
În acest scop elevii vor avea de repetat: — noțiunea de mărime vectorială, (caracteristici); — operații cu vectori, punîndu-se accentul pe produsul vectorial și mai ales pe noțiunea de „moment al unui vector"; — efectele forței și caracterizarea forței ca mărime vectorială; — mișcare de translație și de rotație, caracteristici.

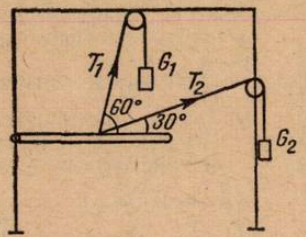
Eventual, în funcție de nivelul și conștiinciozitatea clasei, se pot repeta cu elevii, cele menționate mai sus, în 5—10 min. pentru a ne asigura că elevii posedă cunoștințele necesare desfășurării lecției noi.

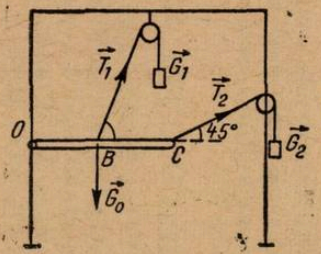
Pe tablă (sau dacă e posibil să fie multiplicat, pe foi de hîrtie) se va trece următorul tabel, în care elevii să aibă trecute explicit toate operațiile pe care trebuie să le efectueze cît și observațiile ori concluziile pe care trebuie să le extragă din observațiile efectuate.

În paranteză am notat răspunsul pe care îl așteptăm de la elevi.

Experiența (operația)	Observația	Rezultatul măsurătorii					Interpretarea rezultatului observației (experienței)	Concluzia
		G_0	r	T	α	F		
1. Se suspendă bara ca în figură și se echilibrează cu o greutate G_1 	1. Ce fel de mișcare poate efectua în plan vertical și sub acțiunea căror forțe (Se vor indica aceste forțe pe desen)? — Care este condiția de echilibru?						— (Mișcarea de translație sub acțiunea greutății proprii și a tensiunii din fir) — $(\vec{G}_1 = -\vec{G}_0)$ — $(\vec{T} = \vec{G}_1)$	Care este condiția de echilibru a unui corp ce poate efectua o mișcare de translație. $(\Sigma\vec{F} = 0)$

2.a) Se fixează bara la o extremitate și se cere elevilor să o mențină în poziție orizontală și apoi să o lase liberă.  	2. Ce fel de mișcare poate efectua bara în plan vertical Sub acțiunea cărei forțe? (Să se specifice direcția, sensul și punctul de aplicație al forței) — Dacă putem menține bara în poziție de echilibru orizontal și cum?					— Mișcarea de rotație în jurul punctului 0 sub acțiunea greutății proprii G_0, aplicată la $r_0 = \frac{l}{2}$ față de 0; direcția verticală, sensul în jos) — (Da — aplicînd barei forțe orientate în sens contrar lui G_0).	În ce condiții o forță poate produce o mișcare de rotație și de cine depinde efectul ei? (corpul să aibă un punct sau un ax de rotație, iar efectul de rotație depinde de modulul forței și brațul ei)
b) Se menține bara în echilibru orizontal cu forțe aplicate succesiv în punctele: A, aflat la $r_1 = \frac{l}{4}$ de 0, apoi în B aflat la $r_2 = l/2$ de 0 și în C la $r_3 = L$ de 0. Se măsoară (notează) aceste forțe.	b) Care este dependența dintre forțele care mențin bara în echilibru orizontal și vectorul de poziție r, pentru $\alpha = 90°$ (se compară forța cu G) și care este efectul lor. — Dacă am putea menține bara în echilibru cu o forță aplicată în 0.	$\frac{l}{4}$ $\frac{l}{2}$ l	T_1 T_2 T_3	90°	G_1 G_2 G_3	— Forța variază invers proporțional cu vectorul de poziție) — (Forțele anulează efectul de rotație al forței G_0) — (nu)	Ce relație există între forțele care mențin bara în echilibru și distanțe (vectorii de poziție) $(T_1r_1 = T_2r_2 = T_3r_3) = G_0r_0$ $T_1r_1 - G_0r_0 = 0)$ $T_2r_2 - G_0r_0 = 0)$
c) Se echilibrează bara cu două forțe aplicate simultan în A și C și $\alpha_1 = \alpha_2 = 90°$.	— Care este noua condiție de echilibru	$\frac{l}{2}$ l	T_1 T_2	90°	G_1 G_2	$T_1r_1 + T_2r_2 = G_0r_0$	

Experienţa (operaţia)	Observaţia	Rezultatul măsurătorii					Interpretarea rezultatului observaţiei (experienţei)	Concluzii
		G_0	r	T	α	F		
3. Se echilibrează bara cu forţe aplicate succesiv în punctele B şi C, întîi pentru $\alpha_1=60°$, apoi pentru $\alpha_2=30°$.	Se compară noile forţe cu cele aplicate anterior în aceleaşi puncte B şi C şi se observă dependenţa de α.		$\frac{l}{2}$	T_1	60°	G_1	— Mărimea lor creşte odată cu micşorarea unghiului.	Cum am putea scrie noua condiţie de echilibru? ($T_1r_1\sin\alpha_1=T_2r_2\sin\alpha_2$) $=G_0 \cdot r_0$
			$\frac{l}{2}$	T_2	30°	G_2		
	Să se indice care este forţa reală care menţine echilibrul barei şi să se compare cu greutatea barei, ori cu valoarea anterioară a forţei pentru $\alpha=90°$		l	T_3	60°	G_3	(Tensiunea se descompune în două componente: $T\sin\alpha \perp$ pe bară şi $T\cos\alpha$ în lungul barei, dar numai $T\sin\alpha$ menţine echilibrul)	
			l	T_4	30°	G_4		
	— Care este noua condiţie de echilibru?					$T_1 \sin \alpha_1$		Ce mărime defineşte produsul? „$Tr\sin\alpha$" plecînd de la faptul că $\vec{T}$ şi $\vec{r}$ sînt vectori?
						$T_2 \sin \alpha_2$		
						$T_3 \sin \alpha_1$		
						$T_4 \sin \alpha_2$		
	— Se poate obţine un echilibu orizontal pentru $\alpha=0$; cum explicaţi rezultatul?						(Nu, indiferent unde este aşezat punctul de aplicaţie al forţei, deoarece pentru $\alpha=0$, momentul unui vector este 0, suportul forţei trece prin „0")	(momentul unui vector se poate scrie $\vec{r}\times\vec{T}$) Prof.: Deoarece $\vec{T}$ este o forţă putem scrie în general: $\vec{r}\times\vec{F}=\vec{\mathfrak{M}}$ $\vec{\mathfrak{M}}$ fiind momentul forţei faţă de 0, care este originea vectorului $\vec{r}$
							(aplicînd o forţă foarte mare, bara se va apropia de poziţia orizontală dar nu va putea fi perfect orizontală)	

Se echilibrează bara cu forţele G_1 şi G_2, aplicate simultan în B şi C. 	— Să se caracterizeze momentul fiecărei forţe. — Să se calculeze momentul rezultant şi să se interpreteze rezultatul.	$\frac{l}{2}$ l	T_1 T_2	60° 45°	$G_1 \sin 60°$ $G_2 \sin 45°$	(Ex. : $\vec{\mathfrak{M}}_{G_1}$ este $\perp$ pe planul foii, orientat de la foaie spre noi, la fel şi $\vec{\mathfrak{M}}_{G_2}$, iar $\vec{\mathfrak{M}}_{G_0}$ are sens contrar) ($\mathfrak{M}_R = +\mathfrak{M}_{G_1} + \mathfrak{M}_{G_2} - \mathfrak{M}_{G_1}$) ($\mathfrak{M}_R = 0$, reprezintă condiţia de echilibru a unui corp ce are un ax de rotaţie ori un centru de rotaţie, asupra căruia acţionează simultan mai multe forţe)	*Profesorul*: ca orice vectori, momentul forţei se caracterizează prin modul $(\vec{\mathfrak{M}}) = Fr \sin \alpha$, direcţie şi sens, (se cere elevilor să repete regula burghiului) De asemenea se bucură de proprietatea de aditivitate obţinîndu-se un moment rezultant: $\vec{\mathfrak{M}}r = \Sigma \vec{\mathfrak{M}}_i$ Care este condiţia generală de echilibru al unui corp sub acţiunea mai multor forţe simultane? $\begin{pmatrix} \Sigma \vec{F}i = 0 \\ \Sigma \vec{\mathfrak{M}}i = 0 \end{pmatrix}$

Notă: Elevii pot efectua, după indicaţii, toate experienţele şi se cere elevilor pentru ora următoare să completeze răspunsurile (rezultatele observaţiilor şi concluziilor), iar în acest caz lecţia durează o singură oră. Ora următoare este absolut necesar să se discute rezultatele cu elevii. Ca temă se va indica elevilor citirea lecţiei din manual.

METODICA PREDĂRII OXIZILOR la cls. a VII-a şi VIII-a.

Prof. *GENOVEVA STĂNCIULESCU*, Bucureşti

Ritmul dinamic de dezvoltare al chimiei şi aplicaţiile ei practice în viaţă şi industrie, impun profesorului metode care să asigure latura formativă a acestui studiu.

Cuantumul informaţional fiind cu mult mai mare decît capacitatea de însuşire a acestor informaţii, duc la concluzia că numai printr-o însuşire conştientă, prin deplasarea ponderii asupra autoactivităţii se poate asigura eficienţa instrucţiei.

Din prezentarea temei: „Oxizii" (Capitolul: Oxizi. Baze. Acizi. Săruri.) temă cuprinsă în programă în ultima parte a clasei a VII-a şi în prima parte a clasei a VIII-a, se poate desprinde cum se realizează latura formativă.

Programa prevede la clasa a VII-a pentru capitolul: „Principalele substanţe compuse" 10 ore, iar la cls. VIII-a, pentru acelaşi capitol 7 ore.

Din experienţa multor ani, am învăţat că însuşirea selectivă a oxizilor facilitează simţitor înţelegerea conştientă a celorlalte combinaţii chimice (baze, acizi, săruri); că permite să se vadă mai limpede unitatea atît în diversitatea fenomenelor cît şi a proprietăţilor lor.

În consecinţă, atribui acestei teme un număr mai mare de ore (3 ore atît pentru cls. a VII-a, cît şi pentru cls. a VIII-a.)

Se anunţă capitolul ce urmează a fi studiat: „Principalele substanţe compuse" însoţit de o succintă schemă ce reprezintă clasificarea acestor substanţe. Se face o scurtă apreciere în legătură cu importanţa lor practică şi industrială, apoi se anunţă tema ce urmează a fi dezbătută imediat: „OXIZII"

La cls. a VII-a, se predau cunoştinţe referitoare la compoziţia, scrierea, denumirea, clasificarea, obţinerea şi proprietăţile oxizilor legate de utilizările lor practice în viaţă şi industrie.

La cls. a VIII-a, revenind asupra oxizilor, se valorifică în mod superior cunoştinţele, aprofundînd o serie de fenomene în lumina noilor teorii, bineînţeles în măsura în care particularităţile de vîrstă ale elevilor şi cuantumul de cunoştinţe acumulat pînă la această dată le permit în predare, se readuce în memoria elevilor de cls. a VII-a că prin arderea în oxigen a unor nemetale ca: S; C; P şi a unor metale ca: Na; Mg; Fe se obţin oxizi (cunoştinţe asimilate la tema: Oxigenul. Aerul.) Astfel, printr-o participare activă şi conştientă se ajunge la stabilirea compoziţiei oxizilor.

Compoziţia. Combinaţii binare ale oxigenului.
Pentru verificarea însuşirii conştiente a definiţiei şi compoziţiei se dă ca muncă independentă exerciţiul: care din combinaţiile de mai jos sînt oxizi şi explicaţi de ce?

H_2O; CH_4; H_2O_2; HCl; FeS; ZnO; ZnS; H_2S; FeO; HOCl.

Scrierea. La cls. a VII-a folosindu-se formulele cunoscute ale oxizilor: SO_2; CO_2; P_2O_5; MgO; FeO etc. se intuieşte că în simbolistică se notează întîi metalul sau nemetalul apoi oxigenul, proporţia de combinare fiind în conformitate cu legea lui Proust. Se ajunge astfel la generalizarea formulei oxizilor: R_2O; RO; R_2O_3... La cls. a VIII-a, cuantumul de

cunoştinţe dobîndit în cls. a VII-a, permite trecerea de la general la particular. În acest scop se cere elevilor să rezolve următoarele exerciţii: Exemplificaţi pe baza formulelor generale diverşi oxizi cunoscuţi.

$$R_2O \rightarrow H_2O;\ Na_2O.$$

a) Să se scrie în continuare oxizii cu Li; K; Ag.

$$RO \rightarrow CO;\ CaO.$$

b) Să se scrie oxizii cu Mg; Cu; Zn; S.

$$R_2O_3 \rightarrow N_2O_3;\ Al_2O_3$$

c) Să se scrie în continuare oxizi cu P; Fe.

d) Să se scrie formulele generale ale combinaţiilor binare cu oxigenul şi exemple pentru R^{IV} (Si; S; Mn) pentru R^{V} (P; N; V; As; Sb) pentru R^{VI} (Cr; W) pentru R^{VII} (Mn; Cl) pentru R^{VIII} (Ru; Os)
e) Care sînt formulele generale corespunzătoare următorilor oxizi:
NO; N_2O_3; CO_2; FeO; Cu_2O; N_2O_5; SO_2; SnO_2.
Exerciţiile date au fost întocmite pe principiile paşilor mici şi conexiunii inverse.

Nomenclatura. La cls. a VII-a se indică mai întîi formulările date de manual. La cls. a VIII-a, folosind cunoştinţele anterioare se poate propune ca moment de muncă independentă următorul exerciţiu:
Să se citească oxizii: MgO; SO; SO_2; SO_3; Cu_2O; CuO şi să se arate criteriile care au dus la întocmirea acestor nomenclaturi.

Apoi, la ambele clase se insistă asupra denumirii oxizilor în funcţie de valenţa metalului (denumiri folosite frecvent în şcolile medii):

Ex. FeO — oxid de fier II

Fe_2O_3 „ „ „ III.

Fe_3O_4 „ „ „ II. şi III.

Ca autoactivitate se poate da să se scrie şi să se denumească oxizii cuprului.

Pentru a se determina riguros raportul de combinare al elementelor componente ale oxizilor, se recomandă nomenclatura ştiinţifică, cea mai indicată astăzi.

Ex. $N_2O \rightarrow$ Monoxid de diazot

$NO \rightarrow$ Monoxid de monoazot

$N_2O_3 \rightarrow$ Trioxid de diazot

$NO_2 \rightarrow$ Bioxid de monoazot

$N_2O_5 \rightarrow$ Pentaoxid de diazot.

Pentru consolidare se dă exerciţiul: să se scrie şi să se citească oxizii manganului.

Clasificarea.. La cls. a VII-a se face în funcţie de compoziţie şi proprietăţile lor chimice.

La întocmirea schemei se solicită cunoştinţe dobîndite la tema: „Reacţii chimice" şi „Proprietăţile între unii oxizi şi apă"

Oxizi → Bazici
Oxizi → Acizi

La clasa a VIII-a se adaugă clasificarea oxizilor, după modul cum reacţionează cu acizii sau cu bazele. Justificarea acestei clasificări apare evidentă din exerciţiile de tipul celor cuprinse în schema de mai jos:

Oxizi → Prod. de săruri → a + baze → sare + b (urmează exemple date de elevi)
Oxizi → Prod. de săruri → c + acid → sare + b (urmează exemple date de elevi)
Oxizi → Neprod. de săruri (NO; CO) — prin oxidare pot trece în oxizi producători de săruri, proprietate chimică importantă.

Pentru elevii cercului (cls. a VIII-a) clasificarea poate fi îmbogăţită cu oxizii amfoteri şi peroxizi.

Oxizi amfoteri + Acid / Bază → Sare + Apă

Peroxizi + Acid → Sare + Apă oxigenată.

Obţinere. La ambele clase se pot prezenta situaţii de cercetare în legătură cu metodele generale de obţinere, bineînţeles în mod diferenţiat (instruire problematizată). În funcţie de noţiunile primite anterior în legătură cu reacţiile chimice şi cu tipurile de reacţie studiate se foloseşte la cls. a VII-a metoda învăţării prin descoperire, iar la cls. a VIII-a metoda de cercetare experimentală.

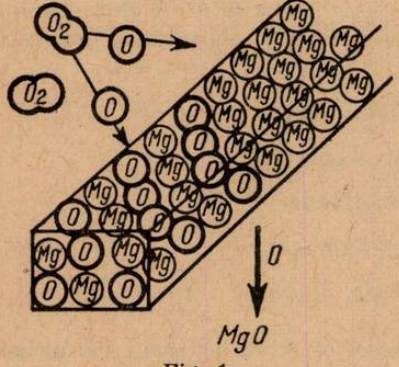


Fig. 1.

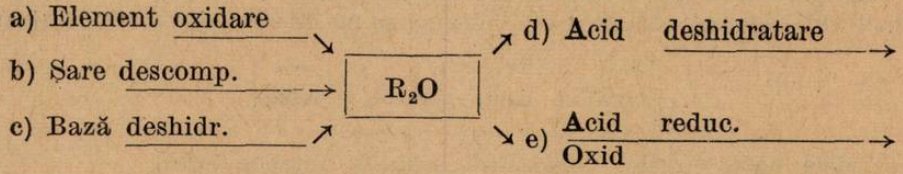
Autoactivitate: La cls. a VII-a. Pe baza cunoştinţelor anterioare stabiliţi care sînt metodele generale de obţinere ale oxizilor?

Pentru pătrunderea fenomenului ce are loc consider potrivită ilustrarea arderii, (prin diapozitiv sau planşe fig. I, ce reprezintă arderea magneziului luată din Manualul de Chimie din R.P.U pentru curs inferior).

a) La cls. a VIII-a. Cu substanţele de pe mese (floare de sulf, placă de aluminiu, fir de cupru) şi cu ustensilele existente (lingură de ars, cilindri de ars cu oxigen, lampă de spirt, chibrite) ce puteţi obţine? Muncă de cercetare (s-a introdus în mod intenţionat placa de aluminiu care din cauza

conductibilității termice se va dilata la căldură și nu va forma oxid, așa cum s-ar fi întîmplat dacă ar fi fost în stare de pulbere).

De asemenea se poate întocmi schema:



Pentru ambele clase se arată că toate elementele formează oxizi pe cale directă sau indirectă, cu excepția gazelor rare. E bine să semnalăm și importanța metalelor inoxidabile pentru viață și tehnică și să explicăm fenomenul care le conferă această proprietate. Schema poate fi îmbogățită printr-o serie de exemple date de elevi.

a) Dați exemple pentru fiecare metodă de obținere.

b) Indicați metodele de obținere ale următorilor oxizi: SO_2; CaO; P_2O_5 apoi scrieți ecuațiile lor chimice.

c) Să se obțină oxizii: Na; P; He. Să se scrie ecuațiile corespunzătoare și dacă e cazul să se facă observația cuvenită.

În cadrul cercului (cls. VIII-a) schema poate fi completată și cu alte procese chimice care conduc la formarea oxizilor:

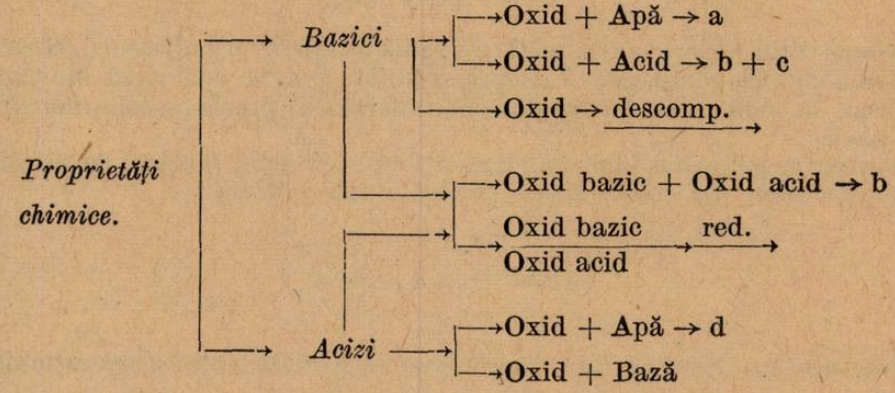
— Prin reacția metalelor din dreapta seriei de reactivitate cu oxiacizii;

— Prin arderea unor compuși combustibili.

De asemenea pot fi incluse noțiunile generale despre oxizi amfoteri și peroxizi.

Proprietăți chimice. Cu acest prilej instruirea problematizată, proces conștient de permanentă cercetare se impune în mod necesar.

Folosind o schemă asemănătoare cu aceea de la obținerea oxizilor se poate realiza predarea în cea mai mare parte cu elevii. (chiar de la întocmirea schemei)



Apoi, în mod ordonat se trece la proprietățile chimice ale oxizilor bazici

Oxizi + Apă → Bază

Din exemple date de către elevi, reprezentate prin ecuații chimice se ajunge la concluzia: cu apa, reacționează oxizii metalelor alcaline și oxizii metalelor alcalino-pămîntoase. Se leagă aceste proprietăți de practică, de exemplu $Ca(OH)_2$ e folosit în construcții.
Caracterul bazic al alcaliilor obținute se pune în evidență cu indicatorii.

$$\text{Oxid} + \text{Acid} \rightarrow \text{Sare} + \text{Apă}$$

Exemplele date de elevi constituie muncă independentă.
Se subliniază că majoritatea oxizilor bazici reacționează cu acizii.
Se trece apoi la proprietatea:

$$\text{Oxid} \xrightarrow{\text{descomp.}} \text{Metal} + \text{Oxigen}$$

Se pun în valoare cunoștințele elevilor primite cu prilejul reacției de descompunere (descomp. Hg). Se arată că tendința de a se pierde oxigenul se manifestă la cald la oxizii metalelor grele.
Pentru cerc (cls. a VIII-a) se poate expune în mod sumar seria de reactivitate cu precizarea că acestei proprietăți se supun metalele din dreapta H-ului.
De asemenea se poate adăuga că prezența reducătorilor înlesnește pierderea oxigenului exemplificînd cu:

$$CuO + H_2 \rightarrow Cu + H_2O$$

$$Zn + C \rightarrow Zn + CO_2$$

și că această proprietate e folosită la reducerea metalelor grele.

$$\text{Oxid} + \text{Apă} \rightarrow \text{Acid}$$

Demonstrată experimental soluția este identificată cu indicatorii. Se recomandă privire comparativă asupra modului cum se comportă indicatorii folosiți în mod uzual (turnesol, fenolftaleină) în prezența soluțiilor acide și bazice.
La oxizii acizi, elevii fiind familiarizați cu acest mod rațional de însușirea cunoștințelor, vor putea lucra singuri după schema:

$$\text{Oxid} + \text{Apă} \rightarrow \text{Acid}$$

Profesorul are rolul de astă dată numai să dirijeze ordinea operațiunilor.

$$\text{Oxid} + \text{Bază} \rightarrow \text{Sare} + \text{Apă.}$$

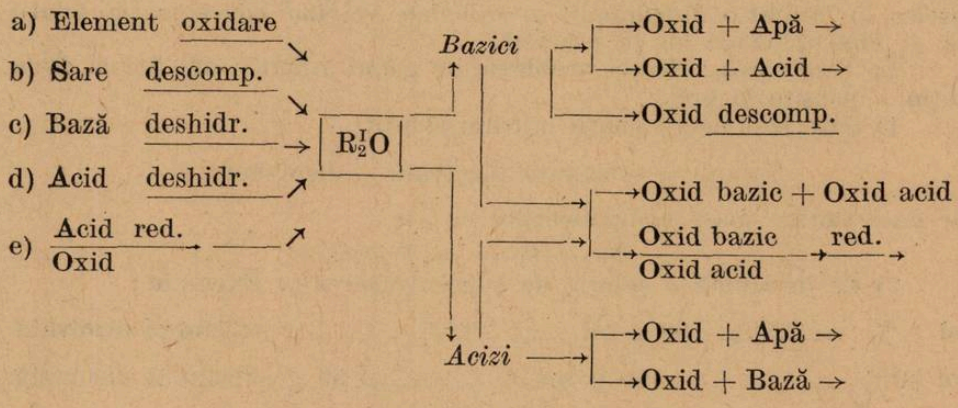
În exemplele date de către elevi, profesorul îi pune în situația de a trage concluzia că unele proprietăți chimice ale oxizilor sînt moduri de preparare

ale bazelor, acizilor şi sărurilor, fenomene ce urmează a fi studiate la temele cu acelaşi nume.
Ca o concluzie se stabilesc următoarele relaţii între oxizii bazici şi oxizii acizi :

$$\text{Element} + O_2 \rightarrow \text{Oxid} + \text{Apă} \rightarrow \frac{\text{Bază}}{\text{Acid}}$$

$$\text{Oxid} + \frac{\text{Acid}}{\text{Bază}} \rightarrow \text{Sare} + \text{Apă}$$

În continuare ca muncă independentă legată de sistematizarea cunoştinţelor primite cu prilejul obţinerii şi proprietăţilor chimice ale oxizilor, la sugestia profesorului se poate întocmi un tabel recapitulativ :



Urmează apoi o serie de probleme selective :
a) Să se aplice oxizilor : CO_2, CuO, toate proprietăţile chimice posibile.
b) De la ce substanţe se poate porni pentru a se obţine CaO căruia să i se aplice toate proprietăţile chimice posibile şi să se indice utilizările practice atît ale CaO cît şi a produşilor finiţi.
c) Se dau substanţele : Mg, S, H_2O, $CaCO_3$, HCl. Ce reacţii se pot realiza ? Să se scrie ecuaţiile chimice corespunzătoare şi să se arate utilizările practice ale compuşilor obţinuţi.

Tema prezentată arată metode şi procedee folosite de profesor în funcţie de stilul său de muncă şi de nivelul clasei, în vederea perfecţionării procesului de predare al chimiei.

Acest lucru se poate realiza printr-o antrenare totală şi permanentă a elevilor în procesul de educare şi instruire oferindu-le cît mai des cazuri de cercetare, care conduc la înţelegerea logică a fenomenelor la flexibilitatea şi fluiditatea gîndirii la dezvoltarea deprinderilor practice, la asigurarea caracterului aplicativ al chimiei la utilizarea conştientă a acestor deprinderi în activitatea viitoare.

METODICA REZOLVĂRII UNOR PROBLEME

Prof. *GYÖRFFY IANOS*, Miercurea Nirajului

Din experienţa mea de la catedră şi cea de metodist voluntar, am ajuns la concluzia că familiarizarea elevilor începători în studiul chimiei (clasa VII), în rezolvarea problemelor este destul de dificilă. Deşi cunosc definiţiile şi baza teoretică necesară rezolvării unor probleme, le aplică greoi.

Manualul actual nu pune accent suficient pe metodologia rezolvării problemelor şi pe diversificarea tipurilor de probleme. Acest fapt m-a determinat să propun cîteva sugestii din propria experienţă privind rezolvarea unor probleme legate de capitolul „Soluţii".

Acest capitol studiat în clasa a VII-a prezintă importanţă prin prisma faptului, că apa este dizolvantul cel mai folosit, şi în viaţa de toate zilele ne întîlnim cel mai des cu soluţii apoase, de multe ori fiind puşi în situaţia de a prepara o soluţie oarecare de o anumită concentraţie procentuală. Aceasta nu prezintă nici o dificultate pentru elevul, care şi-a înţeles în format o îndemînare în calculele privind concentraţia soluţii lor şi bine aplicarea lor în practică.

La rezolvarea oricărei probleme de genul amintit, apelăm la două noţiuni însuşite la ore:

1) Care sînt componenţii oricărei soluţii:

$$\text{Soluţie} = \text{substanţă dizolvată} + \text{dizolvant}$$

iar dacă notăm masa componenţilor cu: m

$$m_{sol} = m_{subst.\ diz.} + m_{diz.}$$

2) Ce înseamnă o soluţie de concentraţie a%. Exemplu:

sol 1 % —(cînd)— 100 g sol —(conţine)— 1 g substanţă dizolvată

sol 50% ——— 100 g sol ——— 50 g substanţă dizolvată

în general:

sol a% , ——— 100 g sol ——— a g substanţă dizolvată

Tipuri de probleme rezolvate şi propuse spre rezolvare

a) Calculul cantităţii de dizolvant şi substanţă de dizolvat necesare preparării unei soluţii de concentraţie dată. Exemplu:

Să se calculeze ce cantitate de apă distilată şi sare de bucătărie se folosesc, pentru prepararea a 500 g ser-fiziologic (apă sărată) de concentraţia 3% în sare?

Rezolvarea:

500 g sol. 3%
? g apă
? g sare

Se ştie că soluţia va avea concentraţia de 3% cînd:

100 g soluţie —(conţin dizolv.)— 3 g sare

atunci: 500 g soluţie ——— x g sare

$$x = \frac{500 \cdot 3}{100} = 15 \text{ g sare}$$

Cantitatea de apă necesară dizolvării celor 15 g sare se calculează plecînd de la definiţia masei soluţiei:

$$m_{sol} = m_{apă} + m_{sare}$$

Înlocuind datele problemei, obţinem:

$$m_{apă\ sărară} = m_{apă} + m_{sare},$$

$$500 \text{ g sol} = m_{apă} + 15 \text{ g sare}$$

de unde: $m_{apă} = 500 - 15 = 485$ g

Probleme propuse, care se rezolvă identic:

— Ce cantităţi de oţet şi apă trebuie folosite pentru obţinerea unui kg de soluţie acră de conc. 2%? (Rezultat: 20 g oţet, 980 g apă)

— De ce cantitate de sodă şi apă avem nevoie pentru a prepara 500 g soluţie de conc. 11%

(Rezultat: 55 g sodă, 445 g apă)

b) Calculul concentraţiei procentuale a unei soluţii, cunoscînd cantitatea de substanţă de dizolvat şi cantitatea dizolvantului. Exemplu:

Ce concentraţie procentuală va avea soluţia, care se obţine prin dizolvarea a 30 g piatră vînătă în 700 g apă?

Rezolvarea:

700 g apă
30 g piatră vînătă
? conc. % sol.

Se calculează prima dată masa soluţiei ce se va obţine în urma dizolvării:

$$m_{sol} = m_{dizolvant} + m_{subst.\ diz.}$$

$$m_{sol} = 700 \text{ g apă} + 30 \text{ g piatră vînătă}$$

$$M_{sol} = 730 \text{ g}$$

Plecînd de la compoziţia soluţiei, putem scrie:

730 g sol ——(conţine)—— 30 g piatră vînătă

atunci: 100 g sol ———— x

$$x = \frac{100 \cdot 30}{730} = 4{,}1\%$$

Probleme propuse, care se rezolvă identic:

— Un kg apă minerală conţine dizolvate 3 g săruri. Ce concentraţie procentuală are apa minerală în săruri? (Rezultat: 0,3%)

— Prin evaporarea a 500 g soluţie, au rezultat 4 g substanţă solidă. Ce concentraţie procentuală a avut soluţia? (Rezultat: 0,8%)

c) Calculul concentraţiei procentuale finale a unei soluţii la care se mai adaugă substanţă. Exemplu:

— La 250 g soluţie apoasă de zahăr de concentraţia 5% se mai adaugă 10 g zahăr. Ce concentraţie finală va avea soluţia?

Rezolvarea:

250 g sol 5%
+ 10 g zahăr
? conc.% finală

Se calculează cantitatea de zahăr dizolvat în soluţia iniţială, după modul descris în problemele anterioare:

100 g sol .... 5 g zahăr

250 g sol x

$$x = \frac{250 \cdot 5}{100} = 12{,}5 \text{ g zahăr}$$

După dizolvarea a încă celor 10 g zahăr, cantitatea totală de zahăr din soluţie va fi :

$$12{,}5 \text{ g} + 10 \text{ g} = 22{,}5 \text{ g zahăr}$$

Dar prin dizolvarea celor 10 g de zahăr creşte şi masa soluţiei :

$m_{sol.}$ = 250 g (sol. iniţ.) + 10 g (zahăr) = 260 g (masa soluţiei finale)

Astfel :

260 g sol ——(conţine)—— 22,5 g zahăr

atunci 100 g sol ———— x

$$x = 8{,}6\%$$

Deci concentraţia soluţiei finale va fi : 8,6%.

Probleme propuse :

— Într-un vas se află 200 kg soluţie apoasă de detergent (ex. DERO) de concentraţia 10%. Se mai adaugă în soluţie încă 5 kg detergent. Ce concentraţie procentuală va avea soluţia finală? (Rezultat : 12,1%)

— Dacă se evaporă 3 kg apă de mare şi sarea obţinută se dizolvă în 2 kg apă distilată, ce concentraţie procentuală va avea soluţia? Se ştie că concentraţia aproximativă a apei de mare este de 3%. (Rezultat : 4,3%)

d) Calculul concentraţiei procentuale a unei soluţii, care rezultă prin amestecarea a două soluţii identice ca compoziţie calitativă, dar diferite ca concentraţie procentuală.

— Problemă rezolvată :

Se amestecă 300 g apă sărată de concentraţia 5% cu 800 g apă sărată de concentraţia 20%. Care va fi concentraţia amestecului?

Rezolvarea :

sol. I) 300 g sol 5%
sol. II) 800 g sol 20%
? conc.% sol. finale

Se calculează cantităţile de sare care se găsesc în cele două soluţii iniţiale : sol. I)

100 g sol ———— 5 g sare
300 g sol. ———— x g sare

$x = 15$ g sare

sol. II)

100 g sol ———— 20 g sare
800 g sol ———— x g sare
$x = 160$ g sare

Cantitatea de sare din soluţia obţinută prin amestecarea soluţiilor I şi II :
15 g + 160 g = 175 g sare

Masa soluţiei finale se calculează tot prin însumare:

$$300 \text{ g sol} + 800 \text{ g sol} = 1100 \text{ g sol.}$$

I II sol. finală

Calculul concentraţiei procentuale a soluţiei finale se va face ştiind că:

atunci

$$\begin{array}{l} 1100 \text{ g sol} \xrightarrow{\text{(conţine)}} 175 \text{ g sare} \\ 100 \text{ g sol} \longrightarrow x \end{array}$$

$$x = 15{,}9\%$$

Problemă propusă spre rezolvare:

— Amestecînd 200 g soluţie de conc. 7% cu 250 g soluţie de concentraţia 10%, ce concentraţie procentuală va avea soluţia finală? (Rezultat: 8,6%)

Nouă profesorilor aceste probleme ne apar desigur foarte simple. Dar pentru elevii cl. VII şi chiar a VIII reprezintă dificultăţi legate de început. Dacă elevii îşi vor însuşi însă metodic şi sistematic căile de rezolvare a problemelor de chimie, îşi vor însuşi tehnica rezolvării lor, indiscutabil că şi elevii vor ajunge la concluzia că, într-adevăr rezolvarea lor nu prezintă... nici o problemă.

PROBLEMATIZAREA ŞI PROGRAMAREA ÎN PREDAREA FIZICII

Prof. *ŞTEFAN ERDEI* — Liceul Săcuieni-Bihor

În cadrul învăţămîntului tradiţional, în predarea fizicii a existat un decalaj, în spaţiu şi în timp, între lecţiile de fizică bazate pe demonstraţiile profesorului şi lucrărilor de laborator ale elevilor. Acestea din urmă erau aplicate ca nişte activităţi complementare ale lecţiilor de fizică, în scopul verificării cunoştinţelor teoretice şi formării deprinderilor practice independente la elevi—prin determinarea mărimilor fizice şi verificarea de legi — executate în mod mecanic, după un reţetar dat de profesor sau de manual [1], fără a fi stimulată la maximum participarea conştientă şi activă a elevilor, după un ritm individualizat.

Lecţia clasică de fizică — cu excepţia lecţiilor de consolidare prin rezolvarea problemelor — bazată mai mult pe transmiterea şi pe verificarea cunoştinţelor, contribuie mai mult la dezvoltarea capacităţii de memorizare a elevilor şi mai puţin la formarea priceperilor şi deprinderilor necesare rezolvării problemelor practice şi teoretice. Elevul este pus mai mult în faţa înmagazinării informaţiilor şi redarea lor la cererea profesorului.

Acumularea crescîndă a volumului cunoştinţelor despre lume duce la necesitatea schimbării conţinutului şi procesului de învăţămînt. În pregătirea specialiştilor viitori pe lîngă cantitatea informaţiilor necesare

[1] L. Panoiotu — M. Petrescu: Problematizarea gîndirii ştiinţifice prin activitate experimentală a elevului la fizică... Revista de Pedagogie Nr. 10 din 1971 pagina 87.

devine mai accentuat, conținutul formativ al lecțiilor — formarea priceperilor și deprinderilor de muncă independentă cu manualul, în laborator și chiar în domeniul muncii de cercetare și de proiectare. Dezvoltarea științelor naturale impune în mod obligatoriu modernizarea metodelor de predare a acestor obiecte la toate gradele învățămîntului. Este necesar ca lucrările de laborator și experiențele demonstrative ale profesorului să devină un mijloc de învățare, de cercetare — cu un ritm individualizat, corespunzătoare aptitudinilor psiho-pedagogice ale elevilor. Desfășurarea activității experimentale și teoretice „proprii elevului trebuie astfel concepută și organizată încît să solicite la maximum participarea sa conștientă și creativă"[1]. Procesul și structura muncii de cercetare și de proiectare trebuie să devină modelul activității didactice, în care crește considerabil rolul metodelor de problematizare și de programare.

Problematizarea în predarea fizicii

Problematizarea constă„în a pune elevul în fața unor probleme teoretice sau practice pe care el este chemat să le rezolve cu forțele lui proprii"[2]. Promovarea activității practice și teoretice a elevilor este ușor realizabilă prin problematizarea lecțiilor de fizică, lucrărilor de laborator și prin lecții de fizică îmbinate cu lucrările de laborator ale elevilor.

Astfel la transmiterea cunoștințelor : *Efectul magnetic al curentului electric alternativ*, elevii repartizați în grupe de cîte 2—3 elevi la un dispozitiv, sînt puși prima dată în fața unei probleme practice — verificarea efectului magnetic al curentului alternativ cu ajutorul acului magnetic, ca și în cazul curentului continuu. Rezultatul observației (acul magnetic rămîne în repaus) nu justifică existența efectului magnetic al curentului alternativ. Rezolvarea problemei a dus la un conflict, care necesită examinarea fenomenului din alt punct de vedere — respectiv pe calea rațională — printr-o problemă teoretică.

Deci urmează o problemă teoretică prin care elevii sînt puși în fața unui raționament logic : de a ajunge de la formula fluxului magnetic al curentului continuu : $\Phi = LI$ și formula intensității curentului alternativ : $i = I_m \sin \omega t$, la găsirea formulei fluxului curentului alternativ : $\Phi = LI_m \sin \omega t$ și interpretarea acestei formule, care justifică existența fluxului magnetic și în cazul curentului alternativ. Totodată ne arată că fluxul magnetic al curentului alternativ variază sinusoidal, cu o frecvență de 50 Hz, deci punerea în evidență cu ajutorul acului magnetic este imposibilă, datorită inerției acului.

Și acum din nou urmează o problemă teoretică, prin care elevii sînt puși în fața găsirii — pe calea rațională — a unui alt fenomen fizic (deja cunoscut de ei), prin care poate fi pusă în evidență existența cîmpului magnetic variabil al curentului alternativ. Pornind de la problema anterioară elevii ajung la concluzia că acest cîmp magnetic variabil poate fi pus în evidență prin inducție magnetică și fac propuneri pentru alcătuirea dispozitivului necesar (experiența lui Thomson).

În sfîrșit pe baza indicațiilor date de profesor elevii trec la verificarea experimentală a existenței cîmpului magnetic variabil al curentului alternativ.

---

[2] M. Petrescu — N. Stănescu : Problematizarea lucrărilor de laborator. Revista de Pedagogie Nr. 11 din 1971, paginile 80—82.

Problematizarea mai sus demonstrată, prin contopirea activității de laborator a elevilor cu lecții de comunicare contribuie mult la realizarea însușirii conștiente, active și creative a fizicii. „Funcția educativă a activității proprii experimentale a elevilor capătă un rol preponderent"[2]. Prin problematizarea activității experimentale și teoretice, elevii sînt puși în fața executării independente atît a experiențelor cît și a raționamentelor, și uneori chiar a elaborării și verificării ipotezelor și legilor. Cunoștințele astfel însușite sînt mai trainice și mai importante în activitatea independentă a elevului.

Problematizarea realizată în cadrul lecțiilor clasice de fizică — bazată fie pe experiențe demonstrative ale profesorului, fie pe experiențe executate în grup sau individual de către elevi — trebuie terminată cu o conversație frontală, pentru confruntarea rezultatelor obinute și pentru sincronizarea ritmurilor diferențiate ale elevilor buni și slabi. Totuși datorită lipsei de coordonare idividualizată a activității practice (executarea și observarea experiențelor) și teoretice (operații de gîndire), mulți dintre elevi mai slabi nu găsesc răspuns la toate, sau la nici o problemă, așteptînd generalizarea răpunsurilor și concluziilor obținute de elevii buni. Nici executarea experiențelor în grup nu dă chiar rezultatul dorit. În cazul grupurilor omogene grupele compuse din elevi slabi rămîn mult în urmă, față de grupele cu elevi mai buni. Iar în cazul grupelor eterogene, la rezolvarea sarcinilor practice și teoretice contribuie mai mult elevii buni, iar elevii slabi asistă numai. Totuși datorită rezultatelor promițătoare pe această cale (superioare față de cele obținute pe calea tradițională) nu putem renunța nci la problematizarea organizată frontal și nici la problematizarea organizată în grup.

Programarea în predarea fizicii. Cea mai indicată este executarea individuală, sau pe grupe de elevi a activității practice și teoretice organizată pentru elevi, în cadrul învățămîntului programat. În acest caz coordonarea individualizată este realizată prin text programat, elaborat de profesor. Astfel profesorul fiind scutit de repartizarea sarcinilor și de coordonarea activității elevilor, poate să treacă la controlul direct al activității elevilor (mai mult la elevi slabi), și la înregistrarea greșelilor tipice, care vor fi analizate în mod frontal. Ritmul diferit de muncă al elevilor permite ca conexiunea inversă — de la elevi la profesor — să fie realizată individualizat, în timp și spațiu diferit, prin contact direct, la solicitarea elevului, după fiecare pas (sau la nevoie), prin semnale vizuale (aprinderea becului semnalizator, ridicarea mîinilor). În unele cazuri în funcție de conținutul activității elevilor, conexiunea inversă se realizează chiar prin textul programat.

Încadrarea activității de învățare — practică și teoretică — a elevilor într-un sistem de muncă relativ independentă, dată prin modelul text programat — în mod științific elaborat — impune elevilor un stil de muncă și gîndire științifică activă și conștientă, cu succese individualizate și legate de trăiri emoționale.

În funcție de conținutul și condițiile tehnice ale laboratorului de fizică se recomandă folosirea a 2 tipuri de texte programate:

Text programat **tip I** la care conexiunea inversă se face prin

— conversație frontală după fiecare secvență, sau după mai multe secvențe.

— autocontrol executat de elevi pe baza folosirii manualului școlar. Acest tip de text programat se folosește mai mult la predarea cunoștin-

țelor mai accesibile elevilor, cînd ritmul de muncă al elevilor este mai puțin diferit, sau la lucrări de laborator executate în mod frontal — fiecare elev la aceeași lucrare.

Text programat **tip II** la care conexiunea inversă se face prin:
— text programat (prin desfacerea zonei răspunsrilor corecte)
— consultarea directă și individualizată cu profesorul (verbal în condițiile laboratoarelor clasice și telefonic în laboratoare audio-vizuale).
— de diferite tipuri de mașini de instruire.

Este aplicată mai mult la lecții mai puțin accesibile elevilor, la lecții aplicative, sau la lucrări de laborator pentru care elevii se pregătesc individual, prin indicarea anticipată a bibliografiei.

Textele programate sînt puse la dispoziția elevilor prin proiector scris la lumina zilei (producția Cehoslovacă, Yugoslavă, etc) în cazul tipului I, și prin broșuri multiplicate pentru fiecare elev, la ambele tipuri de texte programate.

În cele ce urmează vom trece la exemplificarea procedeelor mai sus propuse, atît în cadrul lecțiilor de comunicare cît și la lucrările de laborator.

1. *Desfășurarea lecției de fizică — tip comunicare*, sau mixtă — cu tema: Efectele curentului alternativ, bazată pe textul programat (tip I de la anexa 1), în trei etape principale (A, B, C):

A) Pregătirea elevilor, prin recapitularea cunoștințelor necesare însușirii active și conștiente a cunoștințelor noi. În această parte a lecției elevii dau răspuns în scris la întrebările cerute de textul programat, care sînt verificate prin conversație frontală.

B) Însușirea activă și conștientă a lecției în etape mai scurte, conform conținutului și structurii logice a lecției.

a) Studiul efectului termic al curentului alternativ, coordonat de textul programat cu dispozitive individualizate, sub controlul direct al profesorului, terminată cu rectificarea greșelilor, fie prin autocontrol (pe bază de manual, care contribuie la formarea deprinderilor muncii independente cu manualul), fie prin confruntarea frontală pe bază de conversație (sesizarea de către profesor a greșelilor tipice culese prin control direct).

b) La fel se procedează la studiul efectului chimic al curentului alternativ.

c) Studiul efectului magnetic al curentului alternativ, pe grupe de elevi, prin metoda problematizării, datorită numărului mic al dispozitivelor necesare.

C) Fixarea și sistematizarea cunoștințelor transmise, însoțită de întocmirea schiței pe tablă, care este introdusă în caietul elevilor, terminată cu indicarea temei pentru acasă.

2) *Organizarea lucrărilor de laborator pe bază de text programat.* În cazul organizării frontale a lucrărilor de laborator cu conținut comun, coordonate prin text programat (tip I), elevii lucrează după un ritm individualizat, controlat de profesor — în special la elevi slabi. Rectificarea greșelilor se face pe parcurs și individualizat, prin contact direct al profesorului cu elevii sau cu grupe de elevi, la care se mai adaugă confruntarea frontală a rezultatelor obținute după fiecare secvență (în special după secvențe grele).

Executarea lucrărilor de laborator pe bază de text programat este mult mai avantajoasă la organizarea lucrărilor pe grupe de teme, cînd numărul mic a dispozitivelor existente nu permite executarea frontală,

deci coordonarea clasică a tuturor grupelor de elevi este imposibilă. În acest caz activitatea elevilor se desfăşoară după un ritm individualizat mai accentuat, rezultat şi din conţinutul diferit — coordonat de text programat tip II (anexa Nr. 2). Rectificarea greşelilor se face atît pe parcurs, individualizat, prin contact direct al profesorului cu elevi, cît şi pe baza textului programat prin desfacerea zonei răspunsurilor corecte după fiecare secvenţă.

Prin folosirea textului programat tip II, cu un laborator mai puţin dotat, am obţinut un rezultat neaşteptat de bun, privind formarea deprinderilor muncii independente a elevilor: la alcătuirea circuitelor electrice complexe, la folosirea corectă a aparatelor de măsurat, la executarea măsurătorilor electrice, la respectarea indicaţiilor privind securitatea muncii cu curent electric, la coordonarea atenţiei şi observaţiei elevilor, la formarea noţiunilor, ipotezelor şi legilor, precum şi la autocontrolul activităţii lor. Pe de altă parte a contribuit mult la eliminarea acţiunilor formale existente în activitatea elevilor ca: pregătirea formală prin copierea indicaţiilor din manual, întocmirea unui referat formal (de multe ori copiat de la elevi buni), executarea deficitară a lucrărilor, distrugerea dispozitivelor, etc.

Executarea cu succes a lucrărilor de laborator organizate în acest sens, depinde mult de calitatea textului programat elaborat de profesor, prin respectarea atît a metodelor lucrărilor de laborator — metode de cercetare euristică, sau de verificare — cît şi a metodelor privind stimularea activităţii independente şi gîndirii logice a elevilor. Prin alcătuirea textului programat „profesorul fixează obiective precise, pe care elevii trebuie să le urmărească, astfel ca în final fiecare elev să poată formula pe cont propriu concluziile"[3], cerute de text. Această modelare a activităţii practice şi a gîndirii elevilor, după un raţionament inductiv, deductiv sau analogic[4], şi prin aplicarea operaţiilor de gîndire — analiza, sinteza, comparaţia, abstractizarea, generalizarea — care duc la crearea formelor logice de gîndire — noţiuni, categorii, judecăţi, raţionamente, legi — contribuie la dezvoltarea gîndirii ştiinţifice a elevilor, asigură o creativitate conştientă şi activă prin care elevii vor deveni constructori — muncitori, meseriaşi, tehnicieni, ingineri şi proiectanţi — buni ai societăţii noastre socialiste.

3) *Organizarea lecţiilor de consolidare, prin rezolvarea problemelor de fizică pe baza de text programat.* La lecţiile clasice destinate rezolvării problemelor de fizică nu a fost promovată la maximum activitatea practică (experimentală) a elevilor. Conţinutul şi structura problemelor propuse pentru rezolvarea (din culegere de probleme), în general era rupt de viaţă şi de activitatea productivă. De mai multe ori au un caracter demonstrativ şi mai puţin un caracter creativ-practic, din care cauză nu au un rol mobilizator asupra activităţii conştiente a elevilor.

În scopul eliminării deficienţelor mai sus amintite este necesară accentuarea caracterului creativ-practic al problemelor propuse pentru rezolvare şi chiar includerea elementelor (mărimi) experimental determinabile în formularea lor. Ar fi de dorit ca unele probleme să fie izvorîte din activitatea practică a zilelor noastre şi chiar din sfera intereselor proprii ale elevilor. În scopul formării deprinderilor gîndirii practice la elevi ar

[3] E. Constantinescu — Nş Stănescu: Lecţia de fizică. Revista de Pedagogie, Nr. 4/1971 paginile 77—81.

[4] A. Szanto: Dezvoltarea gîndirii ştiinţifice la elevi prin predarea fizicii. Revista de Pedagogie Nr. 9/1970 paginile 48—56.

fi bine ca la început rezolvarea acestor probleme să fie modelată (coordonat) prin text programat. Şi acum vom trece la exemplificarea celor spuse prin prezentarea schemei de rezolvare a problemei 127 din „Probleme de Fizică pentru Licee" ediţie 1967 :

A) Modelul clasic de rezolvare a problemei.	B) Modelul cu caracter creativ-practic, rezolvat pe baza de text programat tip II, sau după fişă de lucru.
1. Prezentarea problemei. O platformă orizontală de forma unui disc circular se roteşte în jurul unui ax vertical. La 40 cm depărtare de ax se găseşte un corp. Cîte rotaţii pe minut trebuie să facă platforma pentru ca acest corp să fie aruncat spre margine. Coeficientul de frecare se va lua $\mu = 0{,}2$, iar $g = 9{,}8 m/s^2$.	1. Prezentarea problemei : Avem la dispoziţie o maşină centrifugă cu motoraş electric, pe care vrem să o folosim pentru bobinare, ceea ce presupune cunoaşterea turaţiei maşinii. Cum putem determina pe calea experimentală şi teoretică turaţia maşinii cu ajutorul discului Newton şi a unei bucăţi de fier?
2. Identificarea mărimilor fizice cunoscute şi necunoscute : $R=40$ cm ; $\mu=0{,}2$; $g=9{,}8$ m/s^2 $\nu = ?$	2. Documentaţia necesară rezolvării problemei, fie prin indicarea bibliografiei (frecarea, forţa centrifugă), fie prin text programat.
3. Concretizarea prin schemă şi interpretarea conţinutului problemei.	3. Îndrumarea elevilor spre căutarea fenomenelor şi legilor fizicii necesare pentru rezolvarea problemei. Confruntarea propunerilor făcute, prin conversaţie sau prin text programat.
4. Identificarea fenomenelor şi legilor care fac obiectul problemei, precum şi indicarea căilor de rezolvare.	4. Descrierea şi concretizarea raţionamentelor, precum şi măsurătorilor necesare rezolvării problemei. Verificarea prin conversaţie, sau prin desfacerea zonei răspunsurilor corecte de pe text programat.
5. Rezolvarea numerică a problemei.	5. Determinarea experimentală a valorii „r" (individualizat, în grup) sau prin demonstraţia profesorului. Confruntarea rezultatelor obţinute de grupe de elevi.
6. Interpretarea rezultatului obţinut.	6. Calcule numerice, confruntarea rezultatelor şi interpretarea soluţiei obţinute.

În concluzie voi formula care sînt acele elemente noi, sau elemente vechi reprofilate, aplicate în diferite metode şi procedee mai sus amintite în cadrul lecţiilor de fizică :

— Aplicarea structurii muncii de cercetare și de proiectare ca model al activității de învățare a elevilor prin perfecționarea conținutului și structurii lecțiilor clasice și nu prin abordarea completă.

— Stimularea activității independente practice și teoretice a elevilor prin problematizare și programare.

— Stimularea activității diferențiate a elevilor în grup sau individualizat.

— Pregătirea independentă a elevilor pe bază manualului, pentru executarea sarcinilor practice și teoretice, cerute de profesor sau de textul programat.

— Promovarea autocontrolului elevilor prin manual, prin text programat, prin aplicarea pe căi diferite a raționamentelor, sau prin confruntarea rezultatelor obținute experimental cu cele obținute prin raționamente.

— Scutirea parțială a profesorului de la repartizarea sarcinilor și de la coordonarea frontală a activității elevilor, care se realizează prin text programat sau prin fișă de lucru.

— Promovarea controlului direct și individualizat al profesorului, în special la elevii slabi, în scopul depistării lacunelor generale și individuale în cunoștințele elevilor.

— Includerea lucrărilor de laborator și rezolvarea problemelor în sistemul lecțiilor necesare unui capitol, fie pentru dobîndirea cunoștințelor noi, fie pentru aplicarea și verificarea celor învățate. Pe scurt, accentuarea caracterului creativ-practic al lecțiilor de fizică.

— Folosirea unor metode noi de verificare și de notare, prin controlul permanent al activității independente a elevilor, combinat cu metode și procedee clasice de verificare.

— Cunoașterea tuturor metodelor și procedeelor clasice și moderne de către profesor în scopul folosirii lor raționale, variate și cu eficiență maximă (prin evitarea oricărui șablonism), îmbinarea lor conform conținutului lecțiilor. Pregătirea specială a profesorului pentru fiecare lecție.

— Varietatea izvoarelor de informație pentru elevi ca: profesorul (ne mai fiind principal izvor de informație), manualul, text programat, activitatea proprie de cercetare a elevilor, mașini de instruire și de informare, laboranți, etc.

Anexa 1

Studiul efectelor curentului alternativ

A) *Recapitularea cunoștințelor necesare studiului*

În capitolele: Electrocinetică, Curentul electric în electroliți și fenomenele electromagnetice (cîmpul magnetic al curentului), ați învățat despre efectul termic, chimic și magnetic al curentului continuu. În scopul împrospătării acestor cunoștințe vă rugăm răspundeți la următoarele întrebări:

a) Efectul termic al curentului continuu a fost pus în evidenţă prin

Corectare :

. . . . . .

. . . . . .

Efectul termic al curentului electric continuu îşi găseşte aplicaţie la următoarele aparate electrice :

Corectare :

. . . . . .

. . . . . .

b) Efectul chimic al curentului continuu a fost pus în evidenţă prin :

Corectare :

. . . . . .

. . . . . .

Acest efect chimic al curentului continuu îşi găseşte aplicaţie în :

Corectare :

. . . . . .

. . . . . .

c) Efectul magnetic al curentului continuu a fost verificat prin influenţa cîmpului magnetic al curentului continuu la :

Corectare :

. . . . . .

B) *Studiul efectelor curentului alternativ*

Verificaţi existenţa materialelor necesare după tabelul alăturat. După ce sînteţi gata treceţi la studiul fenomenelor propuse.

1. Efectul termic al curentului alternativ

a) Concepeţi schema circuitelor electrice prin care încercaţi verificarea efectului termic al curentului :

— continuu Corectare :

— alternativ : Corectare :

Urmăriţi confruntarea răspunsurilor şi treceţi la rectificarea greşelilor.

b) Executaţi montajul necesar, conform schemelor corectate. După ce sînteţi gata solicitaţi verificarea montajelor din partea profesorului treceţi la executarea experienţei, şi răspundeţi la următoarele întrebări :

— Prin ce se pune în evidenţa efectul termic al curentului continuu :

continuu : . . . . . Corectare :

alternativ . . . . . Corectare :

— Dacă sînt deosebiri între ele :

. . . . . corectare :. . . . . .

. . . . . .

— Concluzii privind folosirea aparatelor electrice bazate pe efectul termic al curentului în circuite de curent continuu şi în circuite de curent alternativ :

. . . . . corectare : . . . . . .

— Rectificaţi răspunsurile date (prin consultarea manualului) pe baza concluziilor profesorului.

2. Efectul chimic al curentului alternativ (în still precedent)

. . . . . .

3. Efectul magnetic al curentului alternativ (în stil precedent)

Anexa 2

Măsurarea rezistenţei electrice prin metoda substituţiei

1. Verificaţi existenţa materialelor necesare după tabelul alăturat : În caz de lipsă a pieselor raportaţi profesorului.

2. Studiaţi cutia de rezistenţă şi determinaţi care dintre fişe trebuiesc scoase pentru ca rezistenţa cutiei să fie de :

10 Ω	1. Zona răspunsurilor corecte
12 Ω	
5 Ω	
7 Ω	

După ce sînteţi gata cu formularea răspunsurilor, verificaţi prin desfacerea zonei răspunsurilor corecte (nr. 1). Analizaţi cauzele greşelilor, şi dacă nu aţi înţeles modul de folosire a cutiei de rezistenţe cereţi ajutorul profesorului.

3. Priviţi montajul din fig. 1 la care :

— Ampermetrul măsoară I_1, cînd întrerupătorul este în poziţia 1 şi I_2, cînd întrerupătorul este în poziţia 2.

— Prin schimbarea valorii R_c a cutiei de rezistenţa se poate realiza ca I_2 să fie egal cu I_1 ($I_2 = I_1$).

— Demonstraţi cu ajutorul legilor Ohm cazul în care $I_2 = I_1$ şi $R_x = R_c$. Dacă sînteţi gata, verificaţi corectitudinea demonstraţiei prin descoperirea zonei 2.

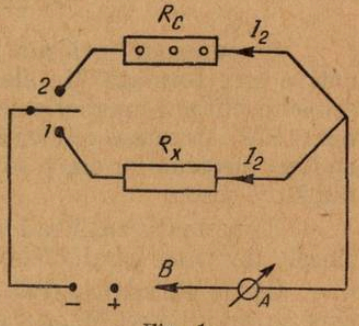


Fig. 1

Zona 2.

Deci dispozitivul de pe fig. 1 poate fi folosit pentru măsurarea rezistenţei prin substituţie.

4. Realizaţi montajul de pe fig. 1, fără introducerea bananei B. Dacă sînteţi gata solicitaţi verificarea montajului din partea profesorului.

5. Introduceţi banana B în priza de curent şi treceţi la executarea experienţei :

a) Comutați întrerupătorul în poziția 1 și citiți valoarea $I_1 = \ldots$ de pe ampermetru.

b) Comutați întrerupătorul în poziția 2 și prin schimnarea valorii rezistenței de pe cutie (prin scoaterea fișelor) realizați o valoare de $I_2 = I_1$.

c) Cu ajutorul fișelor scoase din cutia de rezistența determinați valoarea $R_c = \ldots$, deci $R_x = \ldots$

6. Cunoscînd datele caracteristice ale becului electric folosit (3,5 V; 0,1 A sau 3,5 V; 0,35 W, scrise pe bec), ca rezistență necunoscută, prin folosirea cunoștințelor teoretice — legea lui Ohm și formula puterii curentului electric — calculați valoarea rezistenței becului electric și comparați-o cu cea obținută prin măsurare:

	Zona 3

Dacă sînteți gata cu calculele necesare, prin descoperirea zonei 3, treceți la confruntarea rezultatelor obținute.

7. Pe scurt arătați cauzele greșelilor comise la executarea măsurărorilor, în cazul cînd valoarea obținută prin măsurare nu se potrivește cu cea obținută prin calculele indicate în pct. 6; . . . . . .

. . . . . .

RADIAȚIA β ÎN CÎMP MAGNETIC

F. KOCH, F. COSMA Universitatea „Babeș-Bolyai" Cluj

Se cunoaște încă din 1897 că radiația β emisă de substanțele radioactive este formată din electroni. Primele cercetări asupra radiației beta folosind cîmpul magnetic se datoresc lui Van Baeyer, O. Hahn și L. Metiner (1910). Aceste cercetări au arătat că spectrele β au un caracter continuu, energia electronilor emiși se întinde pe o gamă largă pînă la energii de ordinul MeV-ților.

Experiența realizată are ca scop să evidențieze cu mijloace relativ simple devierea particulelor β în cîmpuri magnetice, în aer.

Ca sursă radioactivă s-a folosit un izotop al ${}_{81}Tl$ și anume ${}_{81}Tl^{204}$ care se dezintegrează prin emisie β și captură K, timpul de înjumătățire fiind 3,5 ani.

$${}_{81}Tl^{204} \longrightarrow {}_{82}Pb^{204} + e \text{ prin transformarea } {}_0n^1 \longrightarrow {}_1p^1 + {}_{-1}e^0 + \bar{\nu}$$
$${}_{81}Tl^{204} + e \longrightarrow {}_{80}Hg^{204} \quad ,, \quad {}_1p^1 + {}_{-1}e^0 \longrightarrow {}_0n^1 + \nu$$

Sursa radioactivă a fost introdusă într-un suport din plexiglas de forma unui cub cu latura de 1 cm. Cîmpul magnetic care produce devierea electronilor este dat de un electromagnet bipolar, piesele polare fiind de formă cilindrică cu diametrul de 14,5 cm, iar întrefierul are o lățime de 2,5 cm la 2 amperi atingîndu-se 2 500 gauss.

Înregistrarea electronilor emiși de sursă s-a făcut cu un contor Geiger-Müller cu fereastră. Măsurătorile s-au efectuat în porțiunea liniară a cîmpului magnetic.

S-a așezat sursa radioactivă între polii electromagnetului și contorul în apropierea polilor. Prin varierea cîmpului magnetic, pe numărător s-a citit numărul de particule care au ajuns la contor pentru diferite valori ale cîmpului magnetic.

S-au efectuat măsurători pentru diferite poziții ale sursei și contorului folosind atît întreaga suprafață detectoare a contorului, cît și o porțiune limitată de fantă, de 3 mm.

Dăm mai jos una din pozițiile posibile ale sursei și contorului în cîmpul magnetic, precum și rezultatele experimentale obținute (după ce s-a trecut de la reprezentarea impulsuri/minut în funcție de cîmpul magnetic, la reprezentarea impulsuri/minut în funcție de energia cinetică, trecere făcută cu ajutorul relațiilor relativiste între impuls, cîmp și energia cinetică).

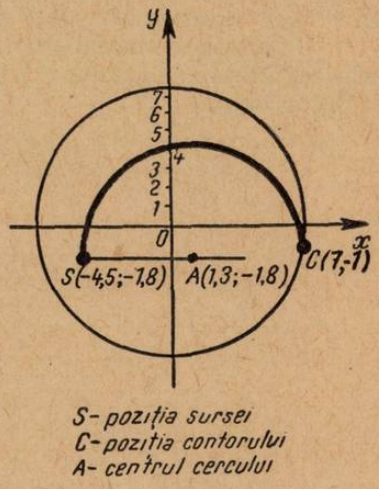


Figura 1.

Raza de curbură a traiectoriei electronilor s-a calculat pe baza considerentelor geometrice și s-a găsit ca fiind $\rho = 5{,}78$ cm.

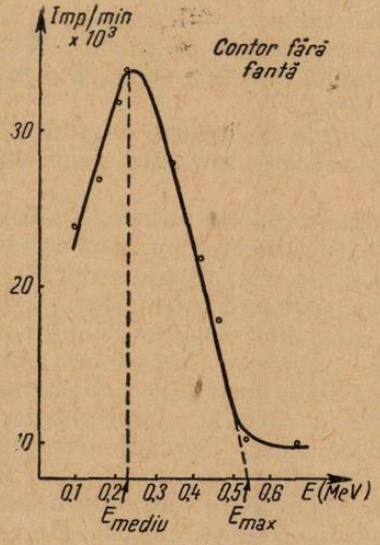


Fig. 2

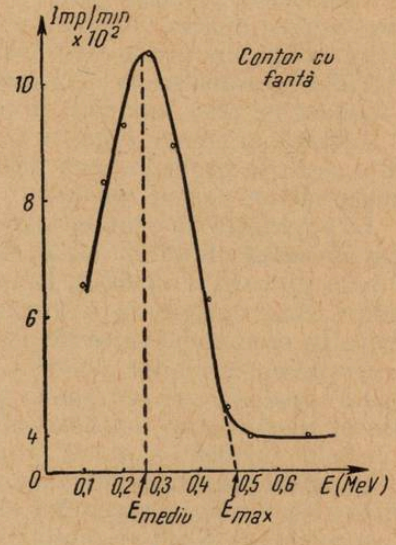


Fig. 3

Curbele obținute în ambele cazuri prezintă un maximum corespunzător energiei medii a radiațiilor β, care este aproximativ 1/3 din E_{max}. Ele nu intersectează axa absciselor datorită fondului dat de sursă, care este înregistrat de contor începînd cu o anumită valoare a cîmpului, fond ce

se datorește radiațiilor beta difuzate, precum și a celor ce mai pot pătrunde prin pereții laterali ai suportului la care se mai adaugă și fondul cosmic.

Punctul de intersecție al prelungirii porțiunii liniare a curbei cu axa energiilor ne dă enegia maximă. (vezi Fig. 2 și Fig. 3)

Energiile sînt mai mici decît cele date de literatură din cauza absorbției în sursă sursa este acoperită cu un strat subțire obținîndu-se în loc de 0,78 MeV aproximativ 0,5 MeV.

Prin aceste măsurători se poate determina și sensul forței Lorentz, prin schimbarea sensului cîmpului magnetic contorul nu mai înregistrează radiația beta.

NOUTĂȚI DIN ȘTIINȚĂ ȘI TEHNICĂ

Electricitatea statică și fibrele sintetice. În consumul general de fibre pentru confecționarea lingeriei și îmbrăcămintei omului modern, fibrele sintetice ocupă în prezent un loc foarte important depășind 70% din totalul fibrelor consumate, deci aportul fibrelor naturale vegetale și animale este modest pe plan mondial, în jur de 30%.

Această orientare nouă în îmbrăcăminte și lingeria omului modern ridică o serie de probleme noi, printre care efectul sarcinilor electrostatice la contactul cu corpul omenesc.

La suprafața de contact între două substanțe de natură chimică diferită se formează un dublu strat electric prin trecerea purtătorilor de sarcină de la un corp la celălalt. În cazul unei separări rapide sarcinile se pot echilibra dînd naștere la o tensiune electrostatică care poate fi foarte ridicată. În ceea ce privește răspîndirea sarcinilor se pot ivi două posibilități : scurgerea sarcinilor electrice de-a lungul fibrei spre mediul ambiant, deci în atmosferă, sau scurgerea spre suprafața corpului, care devine mai puternică dacă crește umiditatea relativă a corpului (transpirație, etc).

Efecte fiziologice. Șocul produs de un număr redus de sarcini electrice de intensitate mică nu este periculos pentru organism, dar cînd se produce o acumulare a sarcinilor electrice negative asupra unor organisme care au unele afecțiuni circulatorii sau cardiace slabe, efectul este extrem de periculos. Din contra un efect pozitiv pot avea aceste sarcini electrice provenind de la fibrele polivinilice, asupra unor persoane cu unele afecțiuni reumatice sau polinevritice. Pot apărea și descărcări electrice luminoase mai ales cînd frecare este mare. S-au putut constata unele incendii în laboratoare și spitale datorită scînteilor electrice, care aprind spontan vaporii de eter, acetonă, benzen, etc.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

O amidă în centrul Galaxiei noastre. O echipă de cercetători de la Universitatea din Illinois, a descoperit în direcția centrului nostru galactic, cu ajutorul radiotelescopului de la Green-Bank, molecule de amide conținînd cele 4 elemente (C, O, N, H) ca formamida.

Coroana solară. Dezintegrarea spontană a neutronilor pare să fie sursa ideală de căldură a coroanei solare. De asemenea această dezintegrare a neutronilor poate explica numeroase fenomene observate în acest mediu complet ionizat a cărui temperatură electronică este superioară lui 10^6 grade Kelwin. Această reacție ar putea aduce nu numai energia necesară pentru menținerea temperaturii coroanei, ci asigură în egală măsură fluxul continuu și permanent fără a fi posibile „căderi" de temperatură.

Un nou acid organic tare. Acidul trifluormetansulfonic (*trimsilat*) (CF_3SO_3H). Spre deosebire de acidul percloric ($HClO_4$), trimsilatul se obține numai sub formă de săruri organice stabile. Acesta este un puternic catalizator de polimerizare și înlocuiește cu succes acidul sulfuric, deoarece prezintă avantajul de a nu produce reacții de sulfonare, iar esterii săi alchilici sînt puternici agenți pentru reacțiile de alchilare. Sărurile acestui acid sînt foarte stabile din punct de vedere termic (pînă la cca. 400°C) sugerînd utilizarea lor ca băi de săruri topite, flux de sudură, lubrefiant solid, pentru sinteza unor produse farmaceutice și coloranți.

Procedeu rapid de sterilizare a apei. Doi cercetători de la Kansas-State-University Manhattan (SUA) au preparat o substanță capabilă să dezinfecteze apa instantaneu, fără a-i afecta gustul. În acest scop ei au construit o coloană de dezinfecție care conține o triiodură și o rășină schimbătoare de ioni. Noul procedeu este eficace chiar și împotriva celor mai agresive bacterii patogene cum ar fi „Escherichia coli". Mecanismul de reacție a germicidului se pare a fi legat de punerea în libertate a unei mici cantități de iod la trecerea bacteriilor prin coloană.

Germaniu. Studiindu-se la temperatură joasă, rezonanța ciclotronică a unei probe de germaniu excitată cu ajutorul unui fascicul luminos produs de o lampă flash cu xenon, cercetători de la Universitatea japoneză Osaka au scos în evidență pentru prima oară ciclurile dintre exciton și electron în germaniul ultrapur. Experiențele efectuate au permis măsurarea duratei de viață a acestor două particule în acest material, valori care nu pot fi măsurate prin alte procedee.

Procedeu eficient pentru deparafinarea carburanților Cercetări efectuate la Institutul petrochimic din Adzerbaidgean (URSS) au dus la descoperirea unui nou procedeu pentru deparafinarea carburanților.

Aceasta constă în extracția parafinelor din carburanți cu ajutorul unei soluții de carbamidă în alcool izopropilic. Procedeul permite obținerea de uleiuri vîscoase și motorină pornind de la uleiuri parafinoase și totodată rezultă alcani în stare lichidă de mare puritate, care sînt foarte căutați pentru prepararea substanțelor tensioactive și a plastifianților.

Motorina obținută are punctul de congelare la — 60°C, iar uleiurile de transformator și de lubrefiere au punctul de congelare la — 43°C, foarte eficiente în utilizările din sezonul rece.

Atenție la bicromatul de potasiu. Cercetări recente au scos în evidență faptul că bicromatul de potasiu $K_2Cr_2O_7$, care este prezent în doze mici în majoritatea detergenților casnici, precum și în compresele clasice cu apa Javel, este un agent alergic foarte incisiv determinînd apariția unor eczeme supărătoare. Aceste eczeme sînt mai frecvente la tinerele mame, care spală mereu rufăria copiilor.

De reţinut că mănuşile de cauciuc foarte folosite de gospodine ca mijloc de protecţie, au un puternic rol alergizant.

Oxigenul. O echipă de cercetători italieni de la Fundaţia „C. Erba" din Milano au putut determina cu precizie că din cei 238 litri de oxigen pe care-i consumă zilnic organismul unui om de peste 60 kg greutate, 70 litri sînt utilizaţi de creer, 70 litri de piele, restul rămînînd diverselor procese de arderi interne.

De aceea la bătrîni este frecventă incapacitatea acestor două ţesuturi de a asimila oxigen determinînd dereglări cutanate şi cerebrale ca hipertensiunea, reumatismul, emfizemul, congestiile cerebrale, etc.

Guturaiul. Experienţe efectuate simultan asupra unor mari grupe de populaţii în Argentina au scos în evidenţă faptul că un nou medicament pe bază de inozitol — dietilamino-propanol—vindecă guturaiul în mai puţin de 24 ore.

Muzica. Este cunoscut faptul că funcţia digestivă a stomacului este reglată de factori biochimici intestinali şi mai ales de factori psihologici. O serie de experienţe efectuate asupra unor bolnavi de ulcer stomacal şi de perforaţii stomacale, au dus la concluzia că muzica zgomotoasă produce instantaneu ulceraţii stomacale dureroase, în timp ce muzica clasică a lui Mozart şi Beethoven a cărei intensitate medie este sub 90 foni produce o diminuare a secreţei gastrice.

Subparticule Cu ajutorul celui mai mare accelerator de particule din lume „Monster" (monstrul) mai exact SLAC (Stanford linear Accelerator) al cărui dimensiuni depăşesc 5 km şi care este capabil de energii de 20 miliarde de electron volţi, s-a putut observa în mediu de hidrogen lichid că particulele nucleare clasice, protonii şi neutronii, conţin 3 sau mai multe nuclee centrale denumite *„partoni"*.

După noile ipoteze se apreciază că partonii nu ar fi altceva decît fantomaticile *„quarkuri"*, a căror particularitate extraordinară este sarcina lor electrică fracţionară de 1/3 e^- sau 2/3 e^-.

Un barion ar fi „format" din trei quarkuri, iar un mezon dintr-un quark şi un antiquark.

Conductivitate electrică unidimensională. La Universitatea americană John Hoopkins, au fost recent puse la punct o serie de materiale care prezintă o puternică conductivitate electrică de-a lungul unei singure axe cristalografice.

Aceste substanţe aparţin clasei compecşilor cu lanţuri lungi de ex: $K_2Pt(CN)_4$ Br.0,3—2,3 H_2O. Acest material se prezintă sub forma unor ace lungi de culoare roşietică asemănătoare cuprului metalic şi are conductivitate electrică de ordinul $4\Omega\ cm^{-1}$.

Primul oxiacid al Fluorului. La Argone National Laboratory (SUA) au fost sintetizate primele miligrame de acid hipofluoros HOF (Oxiacizii halogenilor mai grei şi mai puţin electronegativi ca HClO şi HBrO sînt de multă vreme cunoscuţi). El a fost obţinut prin trecerea unui curent de fluor gazos prin apă, la temperatura de 0°C, într-un vas cu politrifluorclortrietilenă. Alături de acidul hipofluoros se obţine acid fluorhidric, oxigen şi oxid de fluor F_2O, captarea făcîndu-se într-un curent de fluor la — 183°C

Noul acid este foarte instabil, foarte volatil şi se prezintă sub forma unei substanţe albe solide cu p.t — 173°C. Timpul de înjumătăţire a HFO pentru descompunere la temperatura de 20°C variază între 5 minute şi o oră în funcţie de presiune şi de prezenţa vaporilor de apă.

Prof. Mircea Mironescu, Bucureşti

SOCIETATEA DE ŞTIINŢE FIZICE ŞI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL IX

12

DECEMBRIE 1972
RFCABV 9(12) 441 – 480 (1972)

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

STR. NUFERILOR 23, SECTORUL 7 BUCUREȘTI – 46 TELEFON 16.42.86

SUMAR

Pag.

Pentru clasele speciale de fizică

Prof. *Luminița Pop*, București

1. Legi de conservare și variație în fizică 441

Prof. *Sfichi Romulus*, Suceava

2. Principiul lucrului mecanic virtual și aplicațiile sale 451

Ing. asist. *Boiciu Vianor*, Iași

3. Amplificatoare alimentate în curent alternativ 457

Dr. ing. *S. Petrescu*, asist. *V. Petrescu*, București

4. Cu privire la locul și importanța conceptului de interacțiune în tratarea termodinamicii 468

Maria Păunel, București

5. Vitaminele, structura și rolul lor 474

6. Sumarul anului IX — 1972 480

COMITETUL DE REDACȚIE

Constantin D. Albu, conf. univ.; **Teodor Bohățiel**, lector univ.; **Simion Bulgărea**, prof. **Maria Codreanu**, prof. ;**Andra Körner**, redactor; **Nicolae Martalogu**, conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ. ; **Alice Negoescu**, prof. **Ion C. Petrea**, conf. univ; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Elena Teodoru**, prof.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Anul IX nr. 12 decembrie 1972

LEGI DE CONSERVARE ŞI VARIAŢIE IN FIZICĂ

PENTRU CLASELE SPECIALE DE FIZICĂ

Prof. *LUMINIŢA POP*, Bucureşti

1. Prin generalitatea lor, legile de conservare ocupă un loc central printre legile fizicii. Multe din legile cunoscute sînt sau consecinţe directe, sau cazuri particulare ale cîtorva legi fundamentale de conservare : legea conservării energiei, legea conservării impulsului, legea conservării momentului cinetic şi legea conservării sarcinii electrice.

Scopul acestui articol este de a acredita ideea unor lecţii speciale despre legile de conservare, la clasele mari. Spaţiul restrîns nu ne permite o dezvoltare pe larg a temei, astfel încît vom da în cele ce urmează numai cîteva sugestii.

Evident, lecţiile vor trebui să conţină efectuarea unor experienţe interesante şi mai ales, rezolvarea unor probleme cît mai variate.

2. Legea conservării sarcinii electrice.

Vom discuta mai întîi una din legile de conservare simplu de înţeles : *Într-un sistem izolat, suma algebrică a sarcinilor electrice rămîne constantă.*

Această lege fundamentală, descoperită experimental de Faraday are o interpretare simplă în lumina teoriei structurii atomului, conform căreia atomul este format dintr-un nucleu greu, încărcat cu electricitate pozitivă, în jurul căruia se află electroni care poartă electricitate negativă. La rîndul său, nucleul este compus din protoni încărcaţi pozitiv şi neutroni neîncărcaţi electric. Sarcina unui electron este egală şi de semn contrar cu sarcina unui proton.

Dacă admitem că protonii şi electronii nu pot fi nici creaţi şi nici distruşi, atunci, avem o interpretare simplă şi naturală a legii conservării sarcinii electrice.

Înainte de a da cîteva din aplicaţiile legii conservării sarcinii, vom remarca faptul că aceasta are o valabilitate mai mare decît cea care rezultă din discuţia de mai sus.

Şi anume : s-a descoperit că atît electronii, cît şi protonii pot fi creaţi. De exemplu, un neutron se dezintegrează spontan într-un proton, un electron şi încă o particulă neîncărcată electric, antineutrino. De asemenea, s-au descoperit şi alte particule încărcate cu electricitate pozitivă sau negativă care se pot transforma unele în altele.

S-a observat însă, că în *toate* aceste transformări sarcina electrică se conservă şi nu se cunoaşte nici o transformare în care legea conservării sarcinii să fie încălcată.

Vom indica acum, cîteva din aplicaţiile legii conservării sarcinii electrice.

a) Legea I-a a lui Kirchkoff : suma algebrică a curenţilor într-un nod este nulă.

$$\sum_{k=1}^{n} I_k = 0 \tag{2.1}$$

Într-adevăr, deoarece în nod sarcina electrică nu poate fi nici creată, nici distrusă, suma sarcinilor care intră în nod, trebuie să fie egală cu suma sarcinilor care ies din nod.

b) Legea în serie a condensatorilor.

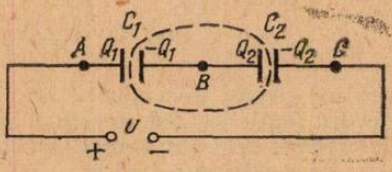


Fig. 1

Din legea conservării sarcinii, rezultă că :

$$Q_1 = Q_2 = Q \tag{2.2}$$

$$U = U_{AB} + U_{BC} = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right) = \frac{Q}{C},$$

deci :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \tag{2.3}$$

c) Legile deplasărilor radioactive.

$$Y^z \rightarrow \alpha^2 + X^{z-2} \tag{2.4}$$
$$Y^z \rightarrow e^{-1} + X^{z+1}$$

Evident, lista ar putea fi continuată în virtutea generalităţii legii conservării sarcinii.

În general, ori de cîte ori studiem un fenomen în care apare transfer de sarcini electrice, trebuie avut grijă ca legea conservării sarcinii să fie îndeplinită.

3. Legea conservării energiei.

Deşi, iniţial energia a fost o noţiune mecanică, ea măsurînd „cantitatea de mişcare nedirecţionată" în contrast cu „cantitatea de mişcare direcţionată" (impulsul), astăzi, noţiunea de energie a ajuns să fie foarte complexă.

Vorbim de energie mecanică, termică, electrică, chimică, luminoasă, nucleară, etc ; vorbim de transformarea energiei chimice în energie electrică, de transformarea directă a energiei termice în energie electrică etc. ; în multe dicţionare energia este definită prin capacitatea de a efectua lucru

mecanic; vorbim de energie de legătură; vorbim de echivalența dintre masă și energie; în sfîrșit, pentru a reveni la subiectul acestei lecții, vorbim de conservarea energiei.

La un nivel foarte înalt de generalitate, spunem că energia este o funcție de stare a sistemelor. Mai exact, dacă S este un sistem într-o stare dată, atunci asociem acestei stări a sistemului o valoare numită energia sistemului. Din cele spuse de mai sus, rezultă că această valoare nu depinde de istoria sistemului, adică de modul cum a ajuns sistemul în starea respectivă; altfel spus, energia este o funcție de stare.

Putem enunța acum principiul conservării energiei. *Pentru un sistem izolat energia sa internă este o constantă.* $U = constant$.

Evident definiția de mai sus nu ne spune nimic atît timp cît nu avem reguli cu ajutorul cărora să putem calcula energia sistemelor. Înainte însă de a discuta diferitele forme de energie și calculul lor, vom da cîteva formulări echivalente ale legii conservării energiei, întîlnite mai frecvent.

Să considerăm două sisteme S_1 și S_2, neizolate între ele, dar izolate de exterior, și care trec dintr-o stare inițială *i* într-o stare finală *f*. Atunci:

$$U_1(\mathrm{i}) + U_2(\mathrm{i}) = U_1(\mathrm{f}) + U_2(\mathrm{f}) \tag{3.1}$$

Rescriem (3.1) în forma:

$$U_1(\mathrm{f}) - U_1(\mathrm{i}) = -(U_2(\mathrm{f}) - U_2(\mathrm{i})) \tag{3.2}$$

Dacă $U_1(\mathrm{f}) - U_1(\mathrm{i}) \neq 0$, vom spune că sistemele au schimbat energie. Dacă $U_1(\mathrm{f}) - U_2(\mathrm{f}) > 0$, vom spune că sistemul **1** a primit energie de la sistemul **2**. Vom nota în general:

$$U(\mathrm{f}) - U(\mathrm{i}) = E_{if} \tag{3.3}$$

Dacă U este o mărime care caracterizează starea sistemelor, E este o mărime care caracterizează transformările sistemelor. Formele cele mai obișnuite de transfer de energie sînt lucrul mecanic și căldura (deși nu întotdeauna transferul de energie se fac prin lucru mecanic sau căldură: de exemplu încărcarea unui acumulator). De multe ori sistemul **2** este nespecificat și atunci se vorbește de schimb de energie cu exteriorul. Atragem aici atenția asupra unei confuzii destul de răspîndite între noțiunile de energie și lucru mecanic sau căldură. Acestea din urmă avînd sens numai pentru transformările sistemelor, expresii de tipul „lucrul mecanic în stare inițială" nu au sens. Nici expresia „căldură înmagazinată de un sistem" nu este corectă, deoarece căldura primită mărește energia internă a sistemului, însă aceeași mărire s-ar fi putut obține de exemplu prin primire de lucru mecanic, deci ceea ce s-a înmagazinat este energie și nu căldură.

Multe din legile cunoscute nu sînt altceva decît scrierea în diferite cazuri particulare a legii conservării energiei. Specific în fiecare caz sînt formele de energie care apar și în consecință, regulile de calcul ale acestora.

În mecanică stările sistemelor se schimbă sub acțiunea forțelor și în acest caz mărimea de transformare este lucrul mecanic. Vom considera pentru simplitate dinamica punctelor materiale în cîmpul gravitațional (presupus constant). Din legile mecanicii și definiția lucrului mecanic, rezultă imediat:

$$L_{if} = \frac{m}{2}(v_f^2 - v_i^2) + mg(h_f - h_i) \tag{3.4}$$

ceea ce conduce la definirea energiei mecanice a punctului material în cîmp gravitațional:

$$U_m = m\left(\frac{1}{2}v^2 + gh\right) \tag{3.5}$$

unde h este înălțimea măsurată de la un nivel oarecare, însă fixat. Dacă forțele exterioare lipsesc, atunci obținem unul din cazurile cele mai simple ale legii conservării energiei:

— În mișcarea unui punct material în cîmpul gravitațional, suma dintre energia cinetică și cea potențială rămîne constantă.

Generalizată la sisteme de puncte materiale formula conține toate legile mașinilor simple și rezolvările multor probleme de mecanică.

Înainte de a trece la alte forme de energie, vom mai defini o mărime utilă atît în teoria cinetică moleculară, cît și în electrostatică și mecanică: energia potențială a două puncte materiale care interacționează cu forțe care au suportul de-alungul dreptei ce unește cele două puncte.

Să considerăm ca stare inițială particulele infinit depărtate și în repaus, iar ca stare finală particulele în repaus și la distanța r. Dacă la distanța r, forța are mărimea $F(r)$ (pozitivă, sau negativă după cum forța este de respingere sau de atracție), atunci lucrul mecanic al forțelor exterioare va fi:

$$L_{if} = U_f - U_i = \int_r^\infty F(r)\,dr$$

Luîndu-se prin convenție $U_i = 0$

$$U_f = U(r) \int_r^\infty F(r)\,dr \tag{3.6}$$

$U(r)$ se numește *energia potențială* a celor două particule.

Noțiunea de energie potențială de interacțiune se poate generaliza la sisteme de mai multe particule și anume energia potențială a n particule va fi suma energiilor potențiale dintre perechile de particule.

$$U = \frac{1}{2}\sum_{i\neq j}^{n} U(r_{ij}) \tag{3.7}$$

unde r_{ij} este distanța dintre particulele i și j.

În mecanică, sub forma enunțată mai sus, legea conservării energiei este folositoare atîta timp cît nu considerăm frecarea. În general, însă, într-un sistem izolat, energia mecanică definită prin (3.5) nu se conservă. De exemplu, două roți uniaxiale identice care se rotesc cu viteze unghiulare egale în sensuri diferite, în contact una cu cealaltă, se opresc după un timp, adică își pierd treptat energia lor cinetică. Avem de a face cu o conservare de energie mecanică? Desigur nu! Energia cinetică s-a transformat în energie cinetică și potențială de interacție a moleculelor ce formează roțile, adică într-o altă formă de energie. Sîntem conduși la considerarea altor forme de energie și a altor forme de transmitere a energiei.

Proprietățile sistemelor se pot schimba, fără ca acestea să schimbe lucru mecanic cu exteriorul. De exemplu, două corpuri solide avînd temperaturi diferite, puse în contact. Corpurile tind să-și egaleze temperaturile.

În acest caz se spune că sistemele au schimbat între ele energie sub formă de căldură. În lumina teoriei cinetice moleculare este simplu de văzut că schimbul de căldură reprezintă transfer de energie. Faptul că schimbul de căldură reprezintă un schimb de energie a fost descoperit abia la mijlocul secolului trecut. Pînă atunci, observaţiile în legătură cu transferul de căldură au fost sistematizate în ecuaţia calorimetrică.

Ecuaţia calorimetrică este o consecinţă a legii conservării energiei şi anume, un caz particular al relaţiei (3.2) : cantitatea de căldură cedată de un corp, este egală cu cantitatea de căldură primită de celălalt corp.

Această lege de conservare conţinută în ecuaţia calorimetrică a condus la sfîrşitul secolului XVIII la teoria caloricului : căldura era considerată ca un fluid indestructibil. Fenomenul care a infirmat teoria caloricului a fost creearea căldurii prin frecare, care a condus la principiul echivalenţei dintre lucru mecanic şi căldură. Conţinutul acestui principiu este :

a) Într-o transformare ciclică (starea iniţială şi finală sînt identice) raportul dintre cantitatea de căldură schimbată cu exteriorul şi lucrul mecanic schimbat cu exteriorul, este în valoarea absolută constant şi se notează cu J.

b) Dacă un sistem trece dintr-o stare iniţială într-o stare finală, schimbînd cu exteriorul sau numai căldură sau numai lucru mecanic, atunci din nou raportul este egal cu J.

Scriind legea conservării energiei, ţinînd cont de cele două moduri de schimb de energie între sistem şi exterior, obţinem primul principiu al termodinamicii.

Pentru o transformare oarecare a unui sistem :

$$U_f - U_i = L_{if} + Q_{if} \tag{3.8}$$

în ipoteza că sistemul schimbă cu exteriorul numai lucru mecanic şi căldură.

Remarcăm că principiul echivalenţei dintre lucru mecanic şi căldură, nu afirmă posibilitatea transformării integrale a căldurii în lucru mecanic, lucru care este interzis de principiul II al termodinmicii, ci numai faptul că atunci cînd se transformă o anumită cantitate de căldură se obţine o cantitate determinată de lucru mecanic.

Varietatea fenomenelor impun considerarea altor forme de energie decît cele întîlnite pînă acum. De exemplu, un amestec de oxigen şi hidrogen îşi ridică temperatura prin ardere fără a primi din afară căldură sau lucru mecanic din exterior.

Pentru a înţelege din punct de vedere energetic diferitele reacţii, vom defini o mărime importantă atît în chimie cît şi în fizica atomică şi nucleară, şi anume energia de legătură.

Să considerăm un sistem S, care este format din mai multe subsisteme $S_1, S_2, \ldots, Sn$.

Ca stare iniţială, vom considera sistemul S în repaus, iar ca stare finală sistemele $S_1, \ldots, S_n$, infinit depărtate, practic atît de depărtate încît forţele dintre susbsisteme să fie neglijabile.

Atunci : $U_f - U_i = E_{if} \equiv$ energia de legătură. Vorbim de exemplu de legătură chimică, atomică, nucleară, după cum sistemul S este o moleculă, un atom sau un nucleu, iar subsistemele sînt atomi (eventual ioni) electroni şi nuclee, sau ioni, respectiv neutroni şi protoni.

După sensul energiei de legătură, reacţiile pot elibera sau absorbi energie pentru a satisface legea conservării energiei. Eliberarea energiei

se face în majoritatea cazurilor sub formă de căldură, adică sub formă de energie cinetică a produselor de reacție, deși se întîlnesc și alte moduri de eliberare a energiei de legătură, ca de exemplu în pilele electrice.

—Legea conservării este de asemenea importantă în studiul fenomenelor electrice. În primul rînd, noțiunea de diferență de potențial (tensiune) este energetică. Și anume, în electrostatică, ea este un caz particular al energiei potențiale de interacție discutate mai sus.

Chiar și legea II a lui Kirchkoff care afirmă că variația totală a potențialului de-alungul unui ochi de rețea este nulă, este o formă de exprimare a legii conservării energiei. Într-adevăr, să „plimbăm" o sarcină q de-a lungul ochiului. Deoarece transformarea este ciclică, potențialul la sfîrșit trebuie să fie egal cu cel de la începutul „plimbării".

Am discutat pînă acum diferite forme de energie : mecanică, termică, chimică, etc. În general, cu cît transformările afectează mai profund structura materiei, cu atît formele de energie devin mai numeroase : la nivel macroscopic avem energie cinetică și gravitațională, la nivel molecular întîlnim energie termică, etc.

Pe linia îmbogățirii conținutului legii conservării energiei ajungem la una din cele mai importante descoperiri în fizica secolului XX : principiul echivalenței masei cu energia.

Pentru aceasta să reamintim una din cele mai vechi legi ale reacțiilor chimice, și anume : **Într-o reacție chimică masa substanțelor rămîne constantă.** Altfel spus, prin combinarea a două grame de H_2 cu 16 grame de O_2 vom obține întotdeauna 18 grame de apă. Mai mult, în toate transformările pe care le-am considerat pînă acum, am presupus conform mecanicii clasice, că masa rămîne aceeași. Această lege a conservării masei, pare a nu avea nimic cu legea conservării energiei.

Teoria relativității a arătat însă, că masa unui corp nu este o constantă ci variază cu viteza. Aceasta spune de exemplu că la încălzirea unui corp, masa lui trebuie să crească. Acest lucru este adevărat, însă variația masei în acest caz este atît de mică, încît nu poate fi detectată cu nici un cîntar. De exemplu, variația masei unui Kg de apă prin încălzire cu un grad este $\Delta m = 4{,}6.10^{-11}$ Kg. Pentru a vedea legătura între masă și energie, să considerăm variația masei cu viteza, dată de teoria relativității :

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

Pentru viteze mici :

$$v << c, \quad \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \approx 1 + \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}$$

$$c^2(m\,(v) - m_0) \approx \frac{1}{2} m_0 v^2 \qquad (3.9)$$

Membrul stîng al relației (3.9) reprezintă variația masei cînd viteza a crescut de la 0 la valoarea v și în membrul drept variația energiei cinetice în aceleași condiții.

În consecință putem scrie:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

— Să mai considerăm un exemplu și anume anihilarea unei perechi electron-pozitron în doi fotoni.

Dacă înainte de anihilare electronul și pozitronul erau practic în repaus, atunci energia fotonilor rezultanți va fi egală cu $2m_e c^2$.

Aceste două exemple constituie două cazuri particulare ale celebrei ecuații a lui Einstein:

$$E = m\,c^2$$

Energia totală a unui sistem este produsul dintre masa sa și pătratul vitezei luminii. Conform acestei ecuații legile conservării energiei și masei se implică una pe alta.

4. Legea conservării impulsului.

O a doua mărime prin care caracterizăm efectele forțelor asupra punctelor materiale în mecanică este impulsul.

Spre deosebire de energie, impulsul este o mărime vectorială. Pentru un punct material de masă m, care se deplasează cu viteza $\vec{v}$, este dat de:

$$\vec{H} = m.\vec{v} \tag{4.1}$$

În funcție de impuls, legea a II-a a mecanicii se scrie pentru un punct material:

$$\frac{d\vec{H}}{dt} = \vec{F} \tag{4.2}$$

deci dacă $\vec{F} = 0$, $\vec{H}$ = constant. În general, cele trei legi ale mecanicii conduc la legea conservării impulsului.

Într-un sistem izolat mecanic (asupra căruia nu acționează forțe exterioare) impulsul total rămîne constant.

Vom arăta aceasta pentru un sistem format din două puncte materiale care interacționează între ele. Să presupunem că punctele au masele m_1, m_2. Dacă **1** acționează cu o forță $\vec{F}_{12}$ asupra lui **2**, atunci **2** acționează cu o forță $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$ asupra lui **1**. În consecință din (4.1):

$$\frac{d}{dt}\vec{H}_{total} = \frac{d}{dt}(\vec{H}_1 + \vec{H}_2) = 0 \tag{4.3}$$

De altfel este ușor de văzut că legea conservării impulsului admite următoarea formulare mai generală:

— *Dacă rezultanta forțelor exterioare care acționează asupra unui sistem este nulă, atunci impulsul total al sistemului se conservă.*(Rezultanta nulă nu înseamnă efecte nule; de exemplu cuplul de forțe).

— Vom da acum o altă formulare a legii conservării impulsului cu ajutorul centrului de masă. Fie un sistem format din n puncte ale căror

poziții sînt date de vectorii $\vec{r}_i$. Centrul de masă al sistemului se definește ca punctul a cărui poziție este:

$$\vec{r}_{cm} = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{\sum m_i} \tag{4.4}$$

notînd cu $M = \Sigma m_i$, obținem prin derivare din (4.4):

$$M \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \vec{r}_{cm} = \vec{H}_t \tag{4.5}$$

Deci: *Centrul de masă al unui sistem izolat mecanic se mișcă rectiliniu și uniform.*

Înainte de a discuta aplicații ale legii conservării impulsului, vom mai face o remarcă cu caracter metodologic. După cum se știe legile mecanicii nu se schimbă la trecerea de la un sistem inerțial la un alt sistem inerțial. Pe de altă parte valoarea impulsului total al unui sistem *depinde* de sistemul inițial ales. Există întotdeauna un sistem de referință în care impulsul total al sistemului este nul. Într-adevăr să presupunem că în sistemul inițial, impulsul total era $\vec{H} = M\vec{v}$, unde M este masa totală a sistemului. Atunci, vom considera sistemul care se mișcă față de vechiul sistem cu viteza $\vec{v}$(= constant). Deoarece în noul sistem centrul de masă are viteză nulă, rezultă că impulsul total în noul sistem este nul. Sistemul în care impulsul total este nul se numește *sistemul centrului de masă*.

Deoarece în rezolvarea unei probleme alegerea sistemului de referință este la dispoziția rezolvitorului, în general, rezolvările sînt mult mai simple în sistemul centrului de masă.

Ca o aplicație a legilor conservării impulsului și energiei vom da cîteva elemente de teoria ciocnilor.

Să considerăm două particule A și B, care inițial sînt depărtate între ele, astfel încît nu se exercită forțe între ele. Particulele au vitezele $\vec{v}_A$ și $\vec{v}_B$, masele m_A și m_B , „se ciocnesc" și apoi se îndepărtează, avînd în final vitezele $\vec{v}_A'$ și $\vec{v}_B'$. Legile de conservare implică faptul că, deși nu presupunem nimic asupra forțelor ce se exercită între cele două particule, vitezele $\vec{v}_A'$ și $\vec{v}_B'$ nu pot fi arbitrare. În primul rînd, legea conservării impulsului implică:

$$m_B \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B = m_A \vec{v}_A' + m_B \vec{v}_B' \tag{4.6}$$

În ceea ce privește legea conservării energiei:

$$U_{A\,\text{intern}} + \frac{m_A v_A^2}{2} + U_{B\,\text{intern}} + \frac{m_B v_B^2}{2} =$$

$$U'_{A\,\text{intern}} + \frac{m_A v'^2_A}{2} + U'_{B\,\text{intern}} + \frac{m_B v'^2_B}{2}$$

unde prin U am notat energiile interne ale particulelor. În cursul ciocnirii, starea internă a particulelor se poate schimba. De exemplu, două sfere de plumb după o ciocnire sînt deformate, deci în general $U'_{\text{int}} \neq U_{\text{int}}$. O ciocnire

se numeşte elastică dacă starea internă a particulelor nu se schimbă prin ciocnire. În acest caz $U'_{int} = U_{int}$ şi legea conservării energiei se reduce la :

$$\frac{m_A v_A^2}{2} + \frac{m_B v_B^2}{2} = \frac{m_A v'^2_A}{2} + \frac{m_B v'^2_B}{2} \tag{4.7}$$

O ciocnire care nu este elastică se numeşte neelastică şi în acest caz o parte din energia cinetică se poate transforma în energie internă (termică, de deformare, etc.)

— Ciocnirea se zice plastică atunci cînd maximul posibil de energie cinetică se transformă în energie internă.

Definiţia are sens deoarece dacă impulsul total nu este nul, nu toată energia cinetică se poate transforma, deoarece ar fi contrazisă legea conservării impulsului.

Vom arăta acum că dacă ciocnirea este plastică, atunci vitezele particulelor după ciocnire sînt egale (de multe ori, această din urmă caracterizare se ia ca definiţie a ciocnirii plastice însă din punctul de vedere al legilor de conservare, prima definiţie este mai naturală). Pentru simplitate vom considera cazul particular al ciocnirilor frontale. Notînd cu H impulsul total, rezultă :

$$E'_C = \frac{m_A v'^2_A}{2} + \frac{m_B}{2}\left(\frac{H - m_A v'_A}{m_B}\right)^2 = \frac{H^2}{2 m_B} + \frac{m_A v'^2_A}{2}\left(1 + \frac{m_A}{m_B}\right) - \frac{H m_A^2 v'_A}{m_B} \tag{4.8}$$

Pentru ca E'_C să fie minimă trebuie ca :

$$\frac{d E'_C}{d v'_A} = 0 = v'_A m_A\left(1 + \frac{m_A}{m_B}\right) - \frac{H m_A}{m_B}, \tag{4.9}$$

ceeace conduce la :

$$v'_A = \frac{H}{m_A + m_B} = \frac{m_A v'_A + m_B v'_B}{m_A + m_B} \tag{4.10}$$

sau

$$v'_A = v'_B \tag{4.11}$$

La acelaşi rezultat se putea ajunge fără a recurge la calculul diferenţial şi anume să considerăm problema în sistemul centrului de masă. În acest sistem, deoarece $\vec{H}_{tot} = 0$, energia cinetică finală este minimă atunci cînd după ciocnire particulele rămîn în repaus şi deci au aceeaşi viteză. Revenind în sistemul iniţial, proprietatea de egalitate a vitezelor se păstrează şi regăsim prin acest argument (4.11).

Ca şi în cazul conservării energiei, există o categorie largă de probleme a căror rezolvare constă în aplicarea legii conservării impulsului. Pentru exemplificare, propunem spre rezolvare următoarea problemă :

O moleculă biatomică are o energie de legătură E_{leg}. Unul din nuclee emite necoerent fotoni de frecvenţe ν_1 şi ν_2. Să se afle probabilitatea ca molecula să disocieze (pentru simplitatea calculelor se va folosi mecanica nerelativistă).

5. Legea conservării momentului cinetic.

În general, faptul că rezultanta forţelor exterioare care acţionează asupra unui sistem este nulă, nu înseamnă că acestea nu schimbă starea

de mişcare a sistemului (de exemplu, acţiunea unui cuplu de forţe asupra unei roţi). Pentru a descrie efectele de rotaţie ale acţiunii forţelor, s-a introdus noţiunea de moment cinetic. Pentru un punct material P de masă m şi care se mişcă cu o viteză v, momentul cinetic faţă de un punct O, este dat de relaţia :

$$\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v} = \vec{r} \times \vec{p} \tag{5.1}$$

unde $\vec{r}$ este vectorul de poziţie al punctului P faţă de punctul O. Derivînd relaţia (5.1) în raport cu timpul, rezultă :

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\vec{L} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\vec{r} \times \vec{p} + \vec{r} \times \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\vec{p} = \vec{r} \times m\vec{a} = \vec{\mathfrak{M}} \tag{5.2}$$

adică variaţia momentului cinetic este egală cu momentul forţelor exterioare (calculat faţă de punctul O).

Generalizînd la sisteme de puncte materiale, obţinem legea conservării momentului cinetic în mecanică :

Dacă momentul forţelor exterioare care acţionează asupra unui sistem faţă de un punct O *este nul, atunci momentul cinetic al sistemului faţă de punctul* O *se conservă.*

Ca aplicaţie a legii conservării momentului cinetic, vom deduce două din legile mişcării planetelor în jurul soarelui. Să considerăm mişcarea unei planete **P** în jurul soarelui **S**, sub acţiunea forţei de atracţie universale (de fapt mişcarea planetei se face în jurul centrului de masă comun, însă masa soarelui fiind mult mai mare, centrul de masă coincide practic cu S).

Deoarece momentul forţei de atracţie ce acţionează asupra planetei **P** faţă de **S** este nul, rezultă că momentul cinetic al planetei faţă de **S** este constant :

$$\vec{L}_p = \vec{r}_{op} \times M_p\vec{v} = \text{const}$$

De aici, rezultă în primul rînd că $\vec{r}_{op}$ şi $\vec{v}$ sînt întotdeauna conţinute în planul perpendicular pe $\vec{L}_p$ şi care trece prin punctul **S**, adică traiectoria planetei este plană. În al doilea rînd :

(5.3) $|\vec{L}_p| = |\vec{r}_{0p}||\vec{v}|\sin(\vec{r}_{0p}, \vec{v})\, M_p = M_p \times$ aria măturată în unitatea de timp, ceea ce reprezintă legea II-a a lui Keppler.

Am discutat pînă acum conservarea momentului cinetic în mecanică, unde acesta este definit prin relaţia (5.1). Cînd studiem fenomene mai complexe, de exemplu în electromagnetism, trebuie să ţinem cont de faptul că şi cîmpul electromagnetic posedă un moment cinetic, care nu este dat de o relaţie de tipul (5.1). De asemenea, multe din particulele elementare cunoscute posedă un moment cinetic intrinsec : spinul. În aceste cazuri ceea ce se conservă este momentul cinetic total şi nu fiecare din formele enumerate mai sus, în parte.

— Am încercat să prezentăm cîteva din problemele legate de legile de conservare, care ar putea constitui subiectul unor lecţii speciale.

Nu am atins nici măcar tangenţial probleme ale legilor de conservare în fizica particulelor elementare ca : legea conservării numărului barionic, legi de conservare aproximative, legătura între legile de conservare şi simetrii, etc., considerînd că acestea depăşesc cadrul unor lecţii de clasă, putînd face subiectul unor teme pentru cercurile de fizică.

PRINCIPIUL LUCRULUI MECANIC VIRTUAL ȘI APLICAȚIILE SALE

Prof. *SFICHI ROMULUS*, Suceava

1. Noțiuni de bază

În mecanică se afirmă despre un corp sau un sistem de corpuri că este *liber* atunci cînd se poate deplasa în orice direcție, putînd executa orice fel de mișcare.

Dacă însă corpul sau sistemul de corpuri nu poate executa orice fel de mișcare, se spune că este supus anumitor *legături*.

Vom numi deci *corpuri libere* acele corpuri care nu suferă nici o restricție de natură geometrică în ceea ce privește pozițiile pe care le pot ocupa în spațiu și *corpuri supuse la legături* acele corpuri care sînt obligate să rămînă în anumite regiuni ale spațiului, datorită faptului că ele trebuie să păstreze o legătură permanentă cu alte corpuri.

Existența unei legături la un corp, are mai întîi o consecință *geometrică* în sensul că posibilitățile de mișcare ale corpului supus la legături sînt mai reduse decît cele ale unui corp liber. Aceasta se manifestă prin aceea că *numărul gradelor de libertate ale unui corp supus la legături este mai mic decît numărul gradelor de libertate ale aceluiași corp, considerat liber.*

A doua consecință este de natură *fizică*; existența unei legături între două corpuri, face ca atît corpul considerat cît și corpul cu care este legat *să interacționeze cu forțe și cupluri, denumite forțe și cupluri de legătură sau reacțiuni*, conform principiului acțiunii și reacțiunii.

Legăturile se numesc *stabile* (intacte), atunci cînd corpul sau în general sistemul material nu le poate părăsi, în orice deplasare a lui; în acest caz deplasările se numesc *compatibile* cu legăturile. Legăturile se numesc *instabile*, atunci cînd există deplasări pentru care corpul sau sistemul material poate părăsi legăturile; aceste deplasări se numesc *incompatibile* cu legăturile. Este de reținut faptul că deplasările incompatibile cu legăturile devin compatibile cu legăturile, dacă înainte de efectuarea deplasării, corpul sau în general sistemul material este eliberat de legături, introducînd forțele de legătură corespunzătoare.

Deplasările corpurilor supuse la legături pot fi *reale* cînd sînt efectuate în timp sau pot fi *virtuale* cînd sînt numai presupuse (fictive sau imaginare).

Deplasarea virtuală a unei particule M aparținînd unui sistem material oarecare (fig. 1) este mutarea din poziția ei reală, fie de repaus, fie de mișcare, într-o poziție fictivă (virtuală) M' foarte apropiată, după voie. Distanța $\overrightarrow{MM'} = \Delta\vec{r}$ ($\vec{r} = \overrightarrow{OM}$ este vectorul de poziție al punctului M) reprezintă deplasarea virtuală a particulei. În mărimi infinitesimale deplasarea virtuală MM' se exprimă prin $\delta\vec{r}$; pentru a se specifica că această deplasare nu este reală, în locul literei d, pentru diferențială se utilizează litera δ. Prin trecerea unui sistem material dintr-o poziție reală, fie de repaus, fie de mișcare, într-o poziție fictivă foarte apropiată, fiecărei particule a sistemului îi corespunde o deplasare virtuală corespunzătoare.

Prin *lucru mecanic virtual* ΔL produs de forța $\vec{F}$ se înțelege lucrul mecanic produs de forța $\vec{F}$ cînd particula M asupra căreia acționează se deplasează în M′ cu $\vec{\Delta r} = \overrightarrow{MM'}$ (fig. 1):

$$\Delta L = \vec{F} \cdot \vec{\Delta r} = F \cdot \Delta s \cdot \cos \alpha \tag{1}$$

în care:

$$\Delta s = |\overrightarrow{MM'}| = |\vec{\Delta r}|; \quad \alpha = \sphericalangle (\vec{F}, \vec{\Delta r}).$$

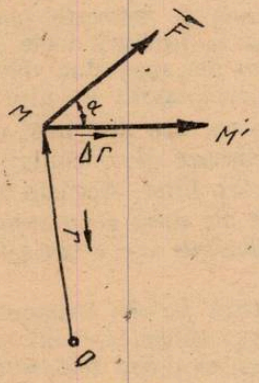


Fig. 1

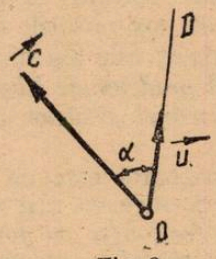


Fig. 2

Exprimat în mărimi infinetisimale, lucrul mecanic elementar virtual δL este:

$$\delta L = F \cdot \vec{\delta r} = F \cdot \delta s \cos \alpha \tag{1'}$$

în care:

$$\delta s = |MM'| = |\vec{\delta r}|; \quad \alpha = \sphericalangle (\vec{F}, \vec{\delta r}).$$

În cazul unui cuplu de moment $\vec{C}$, lucrul mecanic virtual ΔL pentru o rotație virtuală în jurul unei axe D, reprezentate prin versorul său $\vec{u}$, cu unghiul $\Delta\theta$ (fig. 2) este:

$$\Delta L = \vec{C} \cdot \Delta\theta \cdot \vec{u} = C \cdot \Delta\theta \cdot \cos \alpha \tag{2}$$

în care:

$$\alpha = \sphericalangle (\vec{C}, \vec{u}).$$

Același lucru mecanic exprimat în mărimi infinetisimale este:

$$\delta L = \vec{C} \cdot \delta\theta \vec{u} = C \cdot \delta\theta \cos \alpha \tag{2'}$$

în care α evident are aceeași semnificație.

Viteza liniară virtuală a unei particule M într-o deplasare virtuală $\vec{\Delta r}$, este :

$$\vec{v} = \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta t} \tag{3}$$

în care Δt este un timp fictiv, în care se presupune că sistemul material considerat trece din poziţia reală în poziţia virtuală foarte apropiată.

În mărimi infinitesimale aceeaşi viteză este :

$$\vec{v} = \frac{\vec{\delta r}}{\delta t} \tag{3'}$$

Viteza unghiulară virtuală corespunzătoare rotirii virtuale $\Delta\theta\vec{u}$, este :

$$\vec{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}\vec{u} \tag{4}$$

sau în mărimi infinitesimale :

$$\vec{\omega} = \frac{\delta\theta}{\delta t}\vec{u} \tag{4'}$$

2. Principiul lucrului mecanic virtual

Primul cercetător care pe baza exeprienţei a ajuns la ideea de bază a principiului lucrului mecanic virtual a fost Simon Stevin — inginer flamand (1548—1620); el a ajuns la acest principiu cercetînd echilibrul static al diferitelor sisteme de scripeţi.

Să considerăm cazul scripetelui fix reprezentat în fig. 3. Neglijînd frecările şi considerînd cablul perfect flexibil, inextensibil şi de greutate neglijabilă, la echilibru $\vec{P} = \vec{Q}$. Presupunînd că deplasăm virtual forţa $\vec{P}$ pe o anumită distanţă Δh, greutaea $\vec{Q}$ se va deplasa virtual şi ea pe distanţa $\Delta h_1 = \Delta h$.

Lucrul mecanic virtual al forţelor exterioare $\vec{P}$, $\vec{Q}$ şi $\vec{R}$ va fi :

$$\Delta L = P \cdot \Delta h - Q \cdot \Delta h_1 = P \cdot \Delta h - P \cdot \Delta h = 0.$$

Să considerăm acum cazul unui plan înclinat cu unghiul α (fig. 4), caz experimentat mai tîrziu, după Stevin, de către Galileo Galilei. În acest caz, după cum se poate constata cu uşurinţă cu ajutorul metodelor staticii, echilibrul fără frecare are loc cînd $T = P_1 = P \sin \alpha$. Dacă presupunem că dăm o deplasare virtuală corpului de greutate $\vec{P}$ pe distanţa Δl, forţele $\vec{T}$ şi $\vec{P}_1$ se deplasează virtual pe aceeaşi distanţă Δl. Lucrul mecanic virtual va fi :

$$\Delta L = T \cdot \Delta l - P_1 . \Delta l$$

sau :

$$\Delta L = T \cdot \Delta l - P \sin \alpha \cdot \Delta l = 0.$$

Şi în acest caz lucrul mecanic virtual sau mai precis suma lucrurilor mecanice virtuale este nulă. Observăm că, oricare ar fi deplasarea virtuală, reacţiunile $\vec{R}$ şi $\vec{N}$ în cazul scripetelui şi respectiv în cazul planului înclinat, dau fiecare în parte lucru mecanic nul deoarece $\vec{R}$ nu-şi deplasează punctul de aplicaţie (punctul 0), iar $\vec{N}$ este mereu perpendiculară pe direcţia deplasării.

În cele două exemple de mai sus după cum s-a observat am neglijat frecările şi în acelaşi timp deplasările virtuale au fost compatibile cu

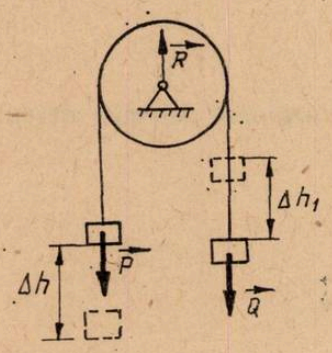


Fig. 3

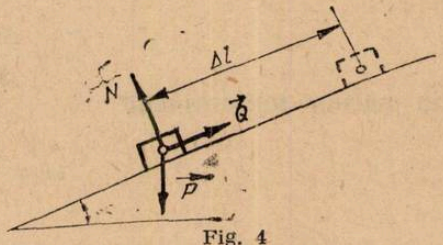


Fig. 4

legăturile. Luînd oricît de multe exemple, vom ajunge în condiţiile arătate la acelaşi rezultat, astfel încît aceste constatări ne conduc pe cale inductivă la enunţarea următoarelor proprietăţi generale :

— *suma lucrurilor mecanice virtuale ale forţelor exterioare date aplicate unui sistem material este nulă pentru orice deplasări compatibile cu legăturile, pentru un sistem de forţe aflat în echilibru* ;

— *lucrul mecanic virtual al fiecărei reacţiuni a legăturilor perfecte (fără frecare) este nul pentru orice deplasare a sistemului compatibilă cu legăturile.*

Aceste două concluzii formează *principiul lucrului mecanic virtual.*

Ca un corolar trebuie să remarcăm că în conformitate cu metoda cinetostatică (principiul lui d'Alambert), orice problemă de dinamică putînd fi tratată prin metodele staticii prin luarea în consideraţie şi a forţelor de inerţie, principiul lucrului mecanic virtual include şi echilibrul dinamic fictiv, extinzîndu-şi valabilitatea în condiţiile arătate nu numai în domeniul staticii ci şi al dinamicii. Pe baza enunţului de mai sus ca şi a celor stabilite prin relaţiile (1), (1′), (2) şi (2′), formularea generală matematică, vectorială a principiului lucrului mecanic virtual, rezultă a fi :

$$\Delta L = \sum \vec{F} \cdot \Delta \vec{r} + \sum \vec{C} \cdot \Delta \theta \vec{u} \tag{5}$$

sau în mărimi infinitesimale :

$$\delta L = \sum \vec{F} \cdot \delta \vec{r} + \sum \vec{C} \cdot \delta \theta \vec{u} \tag{5,}$$

în care $\sum \vec{F} \cdot \Delta \vec{r}$ şi respectiv $\sum \vec{F} \cdot \Delta \delta \vec{r}$, reprezintă suma lucrurilor mecanice virtuale ale forţelor exterioare care acţionează asupra sistemului material

iar $\sum \vec{C} \cdot \Delta\theta\vec{u}$ şi respectiv $\sum \vec{C} \cdot \delta\theta\vec{u}$, reprezintă suma lucrurilor mecanice virtuale ale momentelor cuplurilor forţelor exterioare, care acţionează asupra sistemului material dat. Dacă relaţiile (5) şi (5′) se împart prin Δt şi respectiv δt, se obţine o formulare derivată a principiului lucrului mecanic virtual şi anume principiul vitezelor virtuale.

Într-adevăr :

$$\frac{\Delta L}{\Delta t} = \sum \vec{F} \cdot \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} + \sum \vec{C} \cdot \frac{\Delta\theta}{\Delta t}\vec{u} = 0 \tag{6}$$

$$\frac{\delta L}{\delta t} = \sum \vec{F} \cdot \frac{\delta \vec{r}}{\delta t} + \sum \vec{C} \cdot \frac{\delta\theta}{\delta t}\vec{u} = 0 \tag{6'}$$

şi ţinînd seama de (3), (3′), (4) şi (4′), rezultă din (6) şi (6′) o relaţie unică :

$$P = \sum \vec{F} \cdot \vec{v} + \sum \vec{C} \cdot \vec{\omega} = 0. \tag{7}$$

Relaţia (7) care formulează matematic principiul vitezelor virtuale, rezultă deci din formularea matematică a principiului lucrului mecanic virtual, înlocuind noţiunea de *deplasare virtuală* cu noţiunea de *viteză virtuală*, iar noţiunea de *lucru mecanic virtual* cu noţiunea de *putere virtuală* (P).

În diverse manuale acest principiu al *lucrului mecanic* virtual mai este denumit principiul *deplasărilor virtuale* sau chiar principiul *vitezelor virtuale*. Dintre aceste trei denumiri, denumirea de „*Principiul lucrului mecanic virtual*" este cel mai frecvent utilizată, deoarece se pare că ea se apropie cel mai mult de noţiunea ca atare.

3. Aplicaţii ale principiului lucrului mecanic virtual

a) Utilizînd formularea reciprocă a principiului lucrului mecanic virtual, rezultă o metodă generală de rezolvare a oricărei probleme de statică sau dinamică, care priveşte determinarea poziţiilor de echilibru respectiv mişcare, fără a mai introduce în calcule forţele de reacţiune ci numai forţele exterioare date, împreună cu mărimile geometrice şi cinematice care caracterizează repausul sau mişcarea sistemului respectiv.

Prin urmare această metodă aplicată în dimanică înlătură dificultăţile ce rezultă din aplicarea principiului lui d'Alambert cînd pentru a se determina mişcarea (sau echilibrul) trebuiesc eliminate forţele de reacţiune din ecuaţiile de echilibru dinamic fictiv.

Aplicarea deci a principiului lucrului mecanic fictiv aduce mari avantaje rezolvării practice a problemelor de mecanică.

Aplicarea acestui principiu se face atît în cazul punctului material sau al sistemelor materiale cu frecări, dar mai ales în cazul sistemelor fără frecări (sisteme ideale sau sisteme perfecte), cînd aplicarea se face cu mai multă uşurinţă. Dacă înainte de aplicarea principiului lucrului mecanic

virtual, sistemul respectiv este eliberat de o parte din legături, la deplasările virtuale compatibile cu legăturile rămase, aceste reacțiuni vor da lucru mecanic virtual diferit de zero, fapt pentru care ele vor apărea în ecuația lucrului mecanic virtual; acesta este procedeul cu ajutorul căruia se determină forțele de reacțiune ale legăturilor unui sistem material.

b) O problemă interesantă de statică constă în determinarea *poziției de echilibru* a unui corp sau sistem de corpuri, acționat numai de *greutatea* acestuia și supus la diferite legături *fără frecare.*

Dacă raportăm la un sistem OXYZ avînd axa OZ pe verticala ascendentă, ținînd seama că legăturile sînt fără frecare și dau lucru mecanic nul, pentru deplasări compatibile cu legăturile, obținem prin aplicarea principiului mecanic virtual:

$$\delta L = - Mg\, \delta Z_G \tag{8}$$

în care Z_G este coordonata Z a centrului de greutate a corpului sau sistemului de corpuri, M — masa corpului sau sistemului de corpuri, iar g — accelerația gravitației.

Pentru echilibru este necesar ca $\delta L = 0$ și deci:

$$\delta Z_G = 0 \tag{9}$$

care formulează *principiul lui Toricelli.*

Este evident că dacă un corp sau un sistem de corpuri se află în același plan, vom raporta la un sistem OXY, principiul lui Toricelli exprimîndu-se prin $\delta Y_G = 0$, unde Y_G este coordonata centrului de greutate al corpului sau sistemului de corpuri.

Relația (2) exprimă faptul că poziția de echilibru a corpului sau a sistemului de corpuri corespunde fie pentru Z_G *minim*, cînd centrul de greutate ocupă *poziția cea mai de jos* (*echilibru stabil*), fie pentru Z_G *maxim*, cînd centrul de greutate ocupă *poziția cea mai de sus* (*echilibru instabil*), fie pentru Z_G *constant*, cînd centrul de greutate rămîne prin deplasarea sistemului în *același plan orizontal* (*echilibru indiferent*).

4. Indicații metodice privind aplicarea principi ului lucrului mecanic virtual

Aplicarea principiului lucrului mecanic virtual în statică sau dinamică în condițiile arătate, se face în general în următoarele etape:

— Se figurează toate forțele și cuplurile exterioare care acționează asupra sistemului considerat, exclusiv forțele de reacțiune, dacă este vorba de o problemă de dinamică se adaugă și forțele și cuplurile de inerție.

— Se alege cu grijă o deplasare virtuală oarecare compatibilă cu legăturile — cea mai convenabilă soluției problemei — care se dă unuia din corpurile sistemului și se determină toate celelalte deplasări ale punctelor de aplicație ale forțelor și cuplurilor exterioare care acționează asupra sistemului, în funcție de aceasta.

— Se calculează suma lucrurilor mecanice virtuale ale forțelor și cuplurilor exterioare, obținîndu-se mișcarea sau poziția de echilibru a sistemului considerat.

— Pentru determinarea reacțiunilor procedeul este același cu deosebirea că înainte de a aplica această metodă, legătura ale cărei reacțiuni vrem să le aflăm se desființează și se înlocuiește cu reacțiunile căutate.

BIBLIOGRAFIE

1. *V. Vilcovici, St. Bălan, R. Voinea*: Mecanica teoretică. Editura tehnică, București — 1968
2. *M. Atanasiu*: Mecanica tehnică. Editura tehnică, București — 1969.
3. *Al. Stolnescu, A. Ripeanu, M. Atanasiu*: Culegere de probleme de Mecanică teoretică. Editura didactică și pedagogică, București — 1965.
4. *A. Stan, M. Grumăzescu*: Culegere de probleme de Mecanică tehnică. Editura tehnică, București — 1956.
5. *C. Sălceanu*: Fizica generală — Mecanica și Acustica. Editura didactică și pedagogică București — 1965.

AMPLIFICATOARE ALIMENTATE ÎN CURENT ALTERNATIV

Ing. asist. *BOICIU VIANOR*, Iași

1. Introducere

În majoritatea sistemelor electronice unul sau mai multe etaje trebuie să furnizeze o anumită putere în sarcină. Amplificatoarele se realizează pentru puteri mergînd pînă la ordinul kilowaților, în care caz se impun condiții deosebit de grele pentru sursele de alimentare în curent continuu. Pentru a elimina acest neajuns se preferă alimentarea amplificatoarelor, în circuitul de ieșire, cu o tensiune alternativă. Pe acest principiu se realizează o serie de amplificatoare electronice utilizate în acționări electrice și automatizări.

Sarcina amplificatoarelor alimentate în curent alternativ este, în general, formată din bobinele unor relee electromagnetice, înfășurările de excitație ale unor mașini electrice sau înfășurările amplificatoarelor magnetice. Amplificatoarele folosite în acest caz nu trebuie să reproducă la ieșire forma semnalului de la intrare. Esențial este ca în sarcină, să fie pusă în evidență componenta continuă sau fundamentala tensiunii sau curentului. Valoarea și faza fundamentalei sau semnul componentei continue, din circuitul de ieșire, trebuie să fie corelate într-un mod bine precizat cu valoarea și faza sau semnul semnalului de la intrare.

Astfel, dacă se folosește ca sarcină un motor de curent continuu, prin indus sau inductor trebuie să treacă un curent a cărui valoare medie să fie proporțională cu semnalul de la intrare. Dacă sarcina este un motor bifazat de curent alternativ, prin înfășurarea de comandă a acestuia trebuie să treacă un curent a cărui primă armonică (componenta fundamentală), să fie proporțională cu semnalul și să-și inverseze faza o dată cu inversarea semnului sau fazei, semnalului de la intrare.

În studiul și proiectarea amplificatoarelor alimentate în curent alternativ nu se urmărește stabilirea formei exacte a curenților debitați

în sarcină, ci determinarea aproximativă a amplitudinii primei armonice sau a valorii medii a curentului, fapt care, simplifică procedeele de analiză şi calcul.

2. Amplificator de curent mediu asimetric, alimentat în curent alternativ

Schema unui etaj amplificator realizat cu un singur tub (asimetric) şi alimentat în curent alternativ este dată în figura 1.

Curentul anodic i_a circulă numai în timpul alternanţelor pozitive ale tensiunii de alimentare alternative u_a, şi are în general formă de pulsaţii.

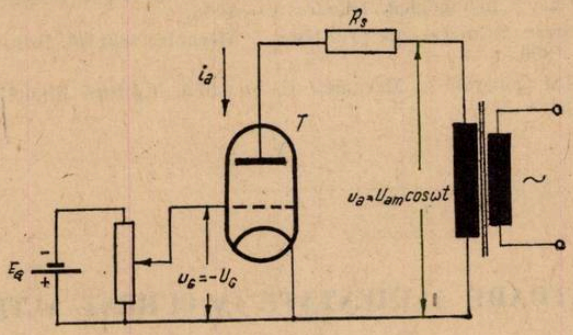


Fig. 1

Pentru a aprecia amplitudinea pulsaţiilor şi durata acestora la bază se va face analiza grafică a etajului, în ipoteza simplificatoare că se aproximează caracteristicile anodice prin segmente de dreaptă.

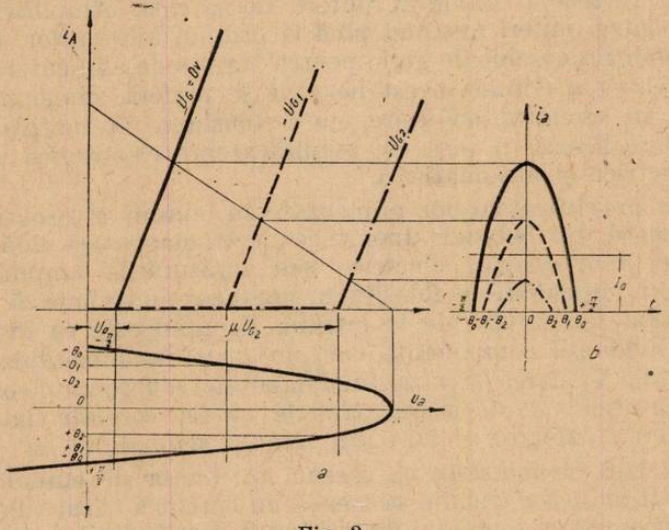


Fig. 2

Dacă se reprezintă familia caracteristicilor anodice idealizate, ca în figura 2a, se constată că apare un curent prin tub numai după ce valoarea instantanee a tensiunii anodice alternative u_a, depăşeşte valoarea U_0.

Aplicarea unei tensiuni negative pe grilă are ca urmare faptul că apariţia curentului are loc după ce tensiunea anodică compensează efectul

de frînare al tensiunii de grilă. Întrucît, tensiunea de pe grilă este echivalentă, în circuitul anodic, cu o tensiune de μ ori mai mare, rezultă că, prin circuitul anodic, curentul va apărea după ce valoarea instantanee a tensiunii de alimentare alternative depăşeşte valoarea $U_0 + \mu U_{G_1}$ sau $U_0 + \mu U_{G_2}$. Unghiul θ, care caracterizează perioada cît tubul conduce, este determinat de amplitudinea componentei alternative anodice U_{am} şi de valoarea tensiunii continue de grilă U_G, acest lucru rezultînd din graficul din figura 2a.

Pe baza acestor consideraţii se poate întocmi schema echivalentă a etajului, în situaţia cînd tubul conduce, ca în figura 3. Tubul este privit

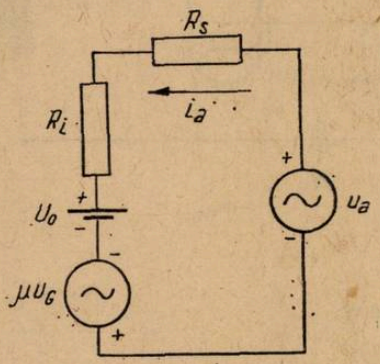


Fig. 3

ca un generator de semnal de tensiune μu_G şi prezintă rezistenţa internă R_i. Sursa U_0 este introdusă în circuit pentru a pune în evidenţă apariţia curentului prin circuit, după ce amplitudinea tensiunii alternative anodice depăşeşte valoarea U_0. Din schema echivalentă rezultă pentru curentul din circuitul anodic expresia :

$$i_a = \frac{u_a + \mu u_G - U_0}{R_i + R_s}$$

$$i_a = \frac{U_{am} \cos \omega t - \mu U_G - U_0}{R_i + R_s} \qquad (1)$$

Din relaţia (1) se constată că valoarea curentului prin circuitul anodic, deci şi prin rezistenţa de sarcină, depinde de amplitudinea componentei alternative a tensiunii anodice U_{am} şi de valoarea componentei continue de pe grilă U_G. Întrucît, în funcţionare, amplitudinea tensiunii de alimentare U_{am} este menţinută constantă, rezultă că valoarea curentului va fi determinată numai de tensiunea de grilă U_G şi anume la creşterea tensiunii negative de grilă, curentul prin circuitul anodic va scădea.

În general, în circuitul de intrare se aplică şi o componentă alternativă suprapusă peste componenta continuă, ca în figura 4. Curentul prin tub va apare tot în timpul alternanţelor pozitive ale tensiunii alternative u_a, valoarea lui fiind determinată şi de componenta alternativă a tensiunii de grilă u_G şi acest lucru reiese din figura 5. De obicei, tensiunea alternativă aplicată pe grilă are aceeaşi frecvenţă ca şi tensiunea anodică, putînd fi în fază cu aceasta (curba 1), în opoziţie de fază (curba 2) sau defazată cu un unghi φ (curba 3).

Tensiunea totală pe grilă este dată de suma dintre componenta continuă și cea alternativă, adică :

$$u_G = -U_G + u_g.$$

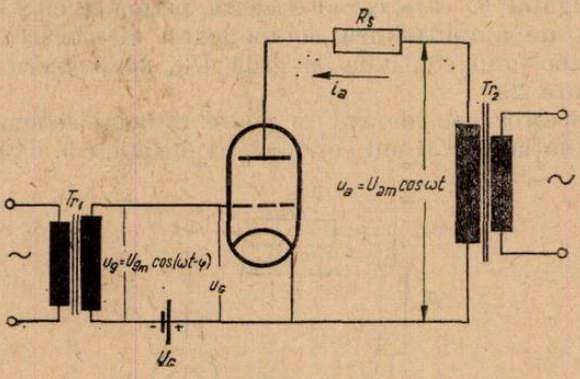


Fig. 4

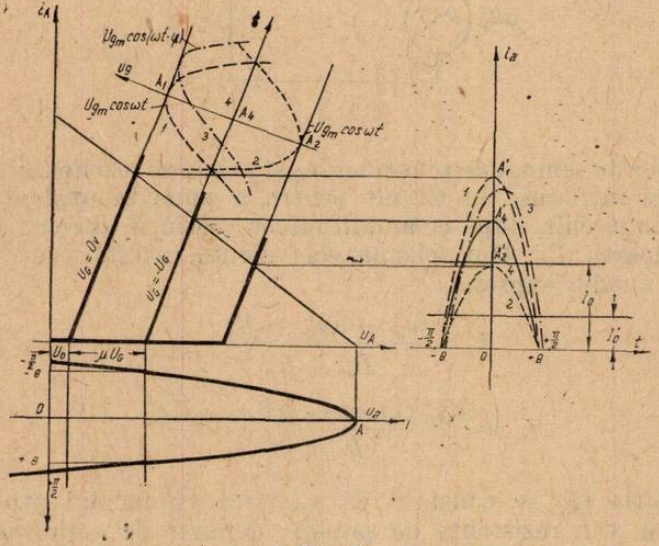


Fig. 5

În cazul cînd cele două tensiuni sînt în fază, în momentul în care tensiunea alternativă din circuitul anodic atinge valoarea maximă (punctul A), tensiunea pe grilă atinge o valoare negativă minimă (punctul A_1). Curentul anodic va prezenta în acest moment o valoare maximă (punctul A_1') În același moment, dacă tensiunea alternativă de grilă este în opoziție de fază cu tensiunea alternativă anodică (punctul A_2), tensiunea negativă pe grilă este maximă, iar curentul prin circuit va avea o valoare minimă (punctul A_2'). Dacă pe grilă se aplică numai componenta continuă U_G, atunci valoarea maximă a curentului, în momentul cînd tensiunea alternativă anodică are valoarea maximă, corespunde punctului A_4'.

Curentul care apare prin circuitul anodic este pulsatoriu şi are valoarea medie dependentă de defazajul existent între tensiunea alternativă de grilă u_g şi tensiunea alternativă de alimentare u_a. Valoarea medie este maximă (I_0), cînd cele două tensiuni sînt în fază şi minimă (I_0'), cînd cele două tensiuni sînt în opoziţie de fază. Dacă tensiunea u_g este defazată de un unghi φ faţă de tensiunea u_a, se obţine pentru curentul i_a, o variaţie după o curbă de forma 2 (fig. 5), a cărei valoare medie este cuprinsă între I_0 şi I_0'. Rezultă că montajul prezentat are proprietatea de a fi sensibil la faza semnalului de la intrare cu observaţia că schimbarea fazei se traduce la ieşire ca o modificare a valorii medii a curentului şi nu ca o schimbare a semnului valorii medii.

Schema echivalentă a etajului amplificator din figura 4, atunci cînd tubul conduce, are forma din figura 3, cu menţiunea că tensiunea de grilă este dată de relaţia :

$$u_G = -U_G + u_g = -U_G + U_{gm}\cos(\omega t - \varphi).$$

În această situaţie, curentul prin circuitul anodic are expresia :

$$i_a = \frac{u_a + \mu u_G - U_0}{R_i + R_s} = \frac{U_{am}\cos\omega t + \mu\,[-U_G + U_{gm}\cos(\omega t - \varphi)] - U_0}{R_i + R_s}$$

de unde :

$$i_a = \frac{U_{am}}{R_i + R_s}\cos\omega t + \frac{\mu U_{gm}}{R_i + R_s}\cos(\omega t - \varphi) - \frac{U_0 + \mu U_G}{R_i + R_s} \qquad (2)$$

Comparînd relaţia (2) cu relaţia (1) se constată că apare un termen nou :

$$\frac{\mu U_{gm}}{R_i + R_s}\cos(\omega t - \varphi),$$

termen care determină creşterea sau descreşterea curentului pulsatoriu din circuit, în funcţie de defazajul φ. Astfel, dacă tensiunile sînt în fază ($\varphi = 0°$), curentul anodic se măreşte cu cantitatea,

$$\frac{\mu U_{gm}}{R_i + R_s}\cos\omega t,$$

iar dacă tensiunile sînt în opoziţie de fază ($\varphi = 180°$), curentul anodic se micşorează cu aceeaşi cantitate.

Relaţia (2) arată că valoarea curentului i_a din circuitul anodic depinde de amplitudinea componentei alternative anodice (U_{am}), amplitudinea componentei alternative de grilă (U_{gm}), defazajul dintre aceste tensiuni (φ) şi de valoarea tensiunii continue negative de pe grilă (U_G). Întrucît, în funcţionare, amplitudinea componentei alternative din circuitul anodic şi tensiunea continuă de grilă se menţin constante, rezultă că valoarea curentului din circuitul anodic va fi determinată de amplitudinea componentei alternative de grilă şi de defazajul φ.

3. Amplificator de curent mediu simetric, alimentat în curent alternativ

Pentru ca amplificatorul să lucreze şi în timpul alternanţei negative a tensiunii de alimentare este necesar să se utilizeze două tuburi montate ca în figura 6. În acest caz prin rezistenţa de sarcină, circulă un curent a cărui valoare medie este de două ori mai mare decît în cazul amplificatorului cu un singur tub.

În figura 6c s-a reprezentat variaţia curenţilor prin tuburi (i_{a1} şi i_{a2}) şi prin rezistenţa de sarcină (i_s) cu linie plină, în cazul cînd tensiunile

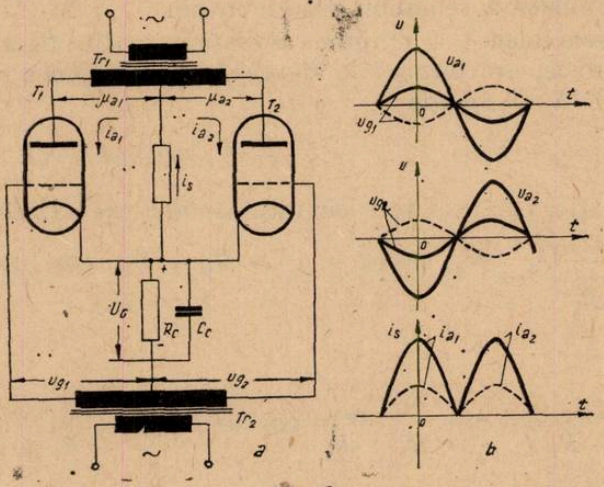


Fig. 6

alternative sînt în fază şi cu linie punctată, în cazul în care tensiunile alternative sînt în opoziţie de fază.

În practică, amplificatoarele prezentate se numesc şi amplificatoare de curent mediu, deoarece, în funcţie de amplitudinea şi faza semnalului de la intrare, se modifică numai valoarea medie a curentului, nu şi semnul acestei valori medii.

4. Amplificatoare sensibile la fază

Amplificatoarele care transformă semnalul alternativ de la intrare într-un semnal de curent continuu de putere mai mare, avînd amplitudinea şi semnul semnalului de ieşire dependente de amplitudinea şi faza semnalului aplicat la intrare, se numesc amplificatoare sensibile la fază. Întrucît amplificatoarele sensibile la fază sînt destinate să alimenteze înfăşurările de excitaţie ale maşinilor electrice, ale amplificatoarelor magnetice sau ale releelor electromagnetice, rezultă că practic efectul amplificării sensibile la fază se traduce prin obţinerea unui curent, respectiv a unui flux magnetic, de un sens sau de sens contrar.

După felul cum sînt dispuse, într-un amplificator sensibil la fază, sursa de alimentare, tuburile şi rezistenţa de sarcină, se deosebesc mai multe tipuri de scheme.

Cea mai folosită schemă este aceea în care tuburile sînt montate într-o punte cu rezistențele de sarcină, în diagonala punții fiind montată sursa de alimentare de curent alternativ, ca în figura 7.

Tensiunile alternative din circuitul de intrare sînt defazate la 180°, datorită prizei mediane din secundarul transformatorului Tr_1. Tensiunea alternativă anodică u_a este aplicată ambelor tuburi de la secundarul transformatorului Tr_2, alimentat de la o sursă de aceeași frecvență ca și semnalul de la intrare. În timpul alternanței pozitive a tensiunii u_a, vor conduce simultan ambele tuburi.

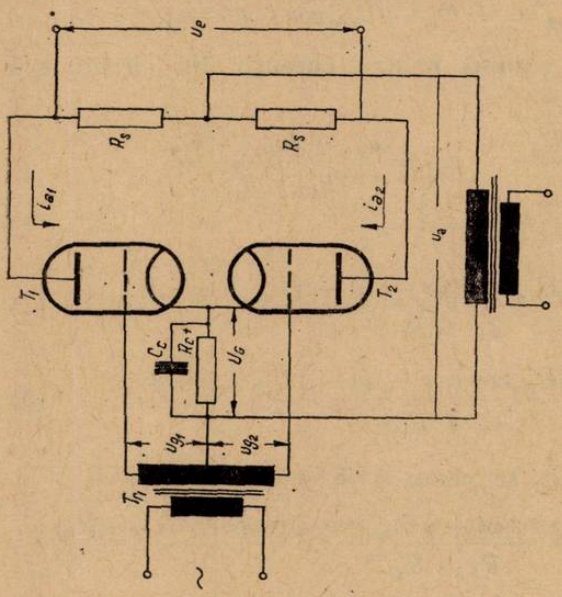


Fig. 7

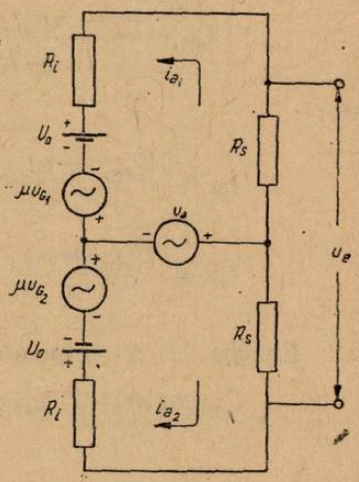


Fig. 8

Analiza amplificatorului din figura 7 se face pe baza schemei echivalente reprezentate în figura 8, din care rezultă:

$$u_e = R_s (i_{a1} - i_{a2}) \tag{3}$$

În absența semnalului la intrare, tensiunile de grilă ale celor două tuburi sînt identice și egale cu căderea de tensiune de pe rezistența R_c, din grupul de negativare automată, adică:

$$u_{G1} = u_{G2} = - U_G$$

și deci:

$$i_{a1} = i_{a2}$$

de unde:

$$u_e = 0.$$

Dacă la intrare se aplică un semnal defazat de unghiul φ față de tensiunea alternativă de alimentare:

$$u_a = U_{am} \cos \omega t$$

se obțin în secundar tensiunile:

$$u_{g1} = U_{gm} \cos(\omega t - \varphi)$$

$$u_{g2} = -U_{gm} \cos(\omega t - \varphi).$$

Tensiunile totale pe grilele celor două tuburi vor fi:

$$u_{G1} = -U_G + u_{g1} = -U_G + U_{gm} \cos(\omega t - \varphi)$$

$$u_{G2} = -U_G + u_{g2} = -U_G - U_{gm} \cos(\omega t - \varphi).$$

Din schema echivalentă rezultă pentru curenții din circuit expresiile:

$$i_{a1} = \frac{u_a + \mu u_{G1} - U_0}{R_i + R_s}; \qquad i_{a2} = \frac{u_a + \mu u_{G2} - U_0}{R_i + R_s}$$

sau:

$$i_{a1} = \frac{U_{am} \cos \omega t + \mu U_{gm} \cos(\omega t - \varphi) - (U_0 + \mu U_G)}{R_i + R_s} \tag{4}$$

$$i_{a2} = \frac{U_{am} \cos \omega t - \mu U_{gm} \cos(\omega t - \varphi) - (U_0 + \mu U_G)}{R_i + R_s} \tag{5}$$

Relația (4) a curentului i_{a1} se poate scrie și sub forma:

$$i_{a1} = \frac{U_{am} \cos \omega t + \mu U_{gm} \cos \varphi \cos \omega t + \mu U_{gm} \sin \varphi \sin \omega t - (U_0 + \mu U_G)}{R_i + R_s}$$

Adunînd și scăzînd o serie de termeni se obține:

$$i_{a1} = \frac{U_{am} \cos \omega t + \mu U_{gm} \cos \varphi \cos \omega t - (U_0 + \mu U_G)}{R_i + R_s} +$$

$$+ \frac{U_{am} \cos \omega t + \mu U_{gm} \sin \varphi \sin \omega t - (U_0 + \mu U_G)}{R_i + R_s} - \frac{U_{am} \cos \omega t - (U_0 + \mu U_G)}{R_i + R_s}$$

sau:

$$i_{a1} = i_{a11} + i_{a12} + i_{a13}. \tag{6}$$

Din relația (6) rezultă că în circuitul anodic al tubului T_1, curentul i_{a1} are trei componente:

— componenta i_{a11}, care se datorește tensiunii alternative anodice $U_{am} \cos \omega t$ și tensiunii alternative de grilă (în fază), $U_{gm} \cos \varphi . \cos \omega t$, atunci cînd pe grilă este aplicată și tensiunea continuă U_G;

— componenta i_{a12}, care se datorește tensiunii alternative anodice $U_{am} \cos \omega t$ și tensiunii alternative de grilă (defazată la 90°), $U_{gm} \sin \varphi . \sin \omega t$, atunci cînd pe grilă este aplicată și tensiunea continuă U_G;

— componenta i_{a13}, datorată tensiunii alternative anodice $U_{gm} \cos \omega t$ și tensiunii continue de grilă U_G.

Din relația (5) se obține, în același mod, expresia curentului i_a^2 ca fiind :

$$i_{a2} = \frac{U_{am}\cos\omega t - \mu U_{gm}\cos\varphi.\cos\omega t - (U_0 + \mu U_G)}{R_i + R_s} + \frac{U_{am}\cos\omega t - U_{gm}\sin\varphi\sin\omega t - (U_0 + \mu U_G)}{R_i + R_s} - \frac{U_{am}\cos\omega t - (U_0 + \mu U_G)}{R_i + R_s}$$

sau :

$$i_{a2} = i_{a21} + i_{a22} + i_{a23}. \tag{7}$$

Componentele curenților i_{a1} și i_{a2} pot fi obținute și grafic ca în figura 9. Din acest grafic se constată că componentele i_{a13} și i_{a23} sînt egale între ele, avînd aceeași formă de variație în timp. Componentele i_{a12} și i_{a22}, cu toate că nu au aceeași formă de variație în timp, au aceeași amplitudine. De asemenea suprafețele delimitate de curenții i_{a12} și i_{a22} fiind egale, rezultă că și valorile lor medii vor fi eagle. Aceste concluzii vor fi verificate și analitic în continuare.

Valoarea medie a tensiunii la ieșire este determinată, conform relației (3), de valorile medii ale curenților din circuit, adică :

$$U_e = R_s (I_{01} - I_{02}). \tag{8}$$

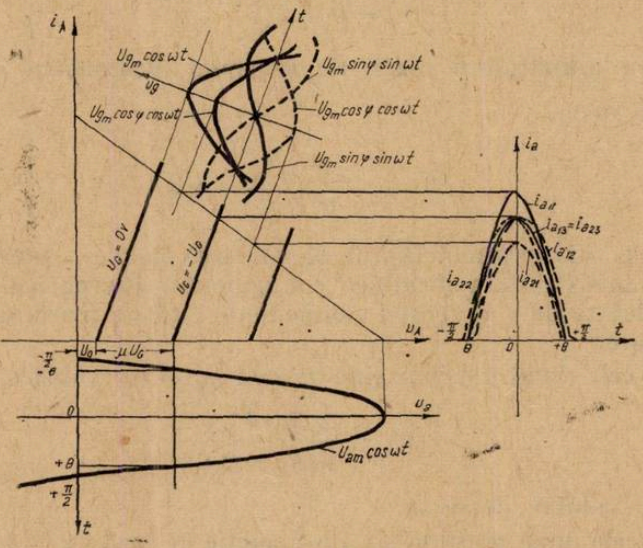


Fig. 9

Pe baza relației generale de definiție a valorilor medii și pe baza relațiilor (6) și (7) se obțin, pentru valorile medii ale curenților i_{a1} și i_{a2}, expresiile :

$$I_{01} = \frac{1}{T}\int_0^T (i_{a11} + i_{a12} + i_{a13})\,\mathrm{d}(\omega t)$$

de unde :

$$I_{01}=\frac{1}{2\pi}\int_{-\theta}^{+\theta} i_{a11}\,\mathrm{d}\,(\omega t)+\frac{1}{2\pi}\int_{-\theta}^{+\theta} i_{a12}\,\mathrm{d}\,(\omega t)+\frac{1}{2\pi}\int_{-\theta}^{+\theta} i_{a13}\,\mathrm{d}\,(\omega t) \qquad (9)$$

$$I_{02}=\frac{1}{2\pi}\int_{-\theta}^{+\theta} i_{a21}\,\mathrm{d}\,(\omega t)+\frac{1}{2\pi}\int_{-\theta}^{+\theta} i_{a22}\,\mathrm{d}\,(\omega t)+\frac{1}{2\pi}\int_{-\theta}^{+\theta} i_{23}\mathrm{d}\,(\omega t). \qquad (10)$$

Înlocuind (9) și (10) în (8) se obține :

$$U_e=R_s\left[\frac{1}{2\pi}\int_{-\theta}^{+\theta}(i_{a11}-i_{a21})\,\mathrm{d}\,(\omega t)+\frac{1}{2\pi}\int_{-\theta}^{+\theta}(i_{a12}-i_{a22})\,\mathrm{d}\,(\omega t)+\right.$$

$$\left.+\frac{1}{2\pi}\int_{-\theta}^{+\theta}(i_{a13}-i_{a23})\,\mathrm{d}\,(\omega t).\right. \qquad (11)$$

Dacă se introduc în relația (11) expresiile componentelor curenților se constată că ultimii doi termeni se anulează și deci valoarea medie a tensiunii la ieșire va fi :

$$U_e=R_s\frac{1}{2\pi}\int_{-\theta}^{+\theta}\frac{2\mu U_{gm}\cos\varphi\cdot\cos\omega t}{R_i+R_s}\,\mathrm{d}\,(\omega t)$$

de unde :

$$U_e=\frac{2\mu R_s U_{gm}\cos\varphi}{\pi(R_i+R_s)}\sin\theta.$$

Pentru amplitudini mari ale tensiunii alternative de alimentare $\theta\simeq\frac{\pi}{2}$ și deci :

$$U_e\simeq\frac{2\mu R_s\cdot U_{gm}}{\pi(R_i+R_s)}\cos\varphi \qquad (12)$$

Relația (12) exprimă faptul că valoarea medie a tensiunii la ieșire este determinată de amplitudinea componentei alternative de la intrare U_{gm} și de defazajul φ al acestei componente față de tensiunea alternativă de alimentare.

Dacă cele două tensiuni sînt în fază ($\varphi=0°$) valoarea medie este :

$$U_e=\frac{2\mu R_s\cdot U_{gm}}{\pi(R_i+R_s)},$$

adică are o valoare pozitivă.

Dacă cele două tensiuni sînt în opoziție de fază ($\varphi=180°$), valoarea medie a tensiunii la ieșire este :

$$U_e=-\frac{2\mu R_s\cdot U_{gm}}{\pi(R_i+R_s)},$$

adică are o valoare negativă.

Aceste considerații justifică definiția dată pentru amplificatoarele sensibile la fază, adică ele transformă semnalul alternativ de la intrare

într-un semnal de curent continuu amplificat (valoarea medie), avînd semnul şi valoarea dependente de faza şi amplitudinea semnalului aplicat la intrare.

Al doilea tip de schemă de amplificator sensibil la fază se obţine prin montarea în ramurile unei punţi a sursei de alimentare şi a rezisten-

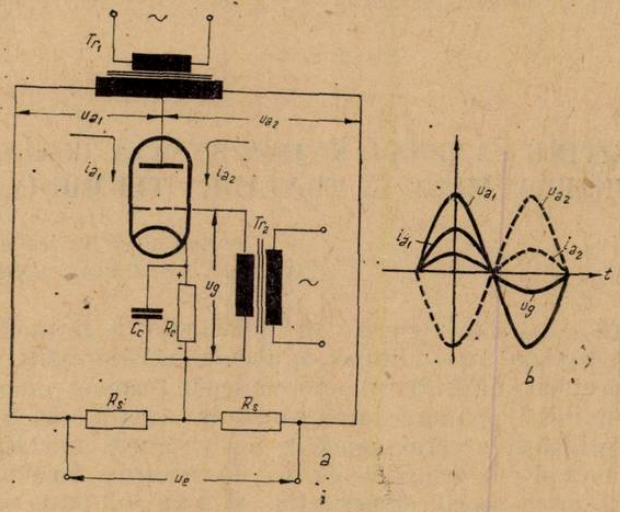


Fig. 10

ţelor de sarcină, tubul fiind conectat în diagonala punţii, ca în figura 10. În figura 10b sînt prezentate graficele mărimilor electrice; aceste grafice arată că prin tub vor circula curenţii i_{a1} şi i_{a2}, în alternanţe diferite. Dacă tensiunea de la intrare u_g este în fază cu tensiunea u_{a1} şi deci în opoziţie de fază cu u_{a2}, prin circuit apar curenţi pulsatorii, de amplitudini diferite.

Analiza etajului amplificator se face în acelaşi mod ca şi pentru amplificatorul din figura 9 şi final, se ajunge la relaţia (12), deci la aceleaşi concluzii.

Toate amplificatoarele prezentate se realizează şi cu tranzistoare, principiul lor de funcţionare fiind acelaşi şi în acest caz.

Concluzii

În cadrul acestei lucrări s-au prezentat cîteva tipuri de amplificatoare de curent mediu şi de amplificatoare sensibile la fază. S-a căutat să se facă o prezentare analitică şi grafică detaliată a acestor amplificatoare speciale, întrucît tratarea lor în literatura de specialitate este făcută destul de sumar.

Amplificatoarele alimentate în curent alternativ permit să se realizeze o simplificare importantă a schemei, prin eliminarea redresorului de alimentare în curent continuu.

Amplificatoarele alimentate în curent alternativ se utilizează în cazul în care curentul, tensiunea sau puterea furnizată de amplificator trebuie să fie funcţie nu numai de valoarea semnalului de la intrare, ci şi de faza sau polaritatea acestuia. În cazul acestor amplificatoare tensiunea alternativă de alimentare şi semnalul de la intrare sînt sinusoidale, de aceeaşi frecvenţă. În instalaţiile industriale aceste amplificatoare lucrează, de obicei, cu o tensiune alternativă cu frecvenţa de 50 Hz.

BIBLIOGRAFIE

1. *E. M. Reşelnicov*: Teoria i rascet fazociustvitelnîi usilitelei vîpriamitelei, Moscova, 1964.
2. *M. Săvescu*, Circuite electronice, Ed. tehn., Bucureşti, 1967.
3. *E. Damachi*: Electronica industrială, Ed. did. şi ped., Bucureşti, 1969.
4. *I. Felea*: Circuite cu tranzistoare, Vol. I, Ed. tehn., Bucureşti, 1963.

CU PRIVIRE LA LOCUL ŞI IMPORTANŢA CONCEPTULUI DE INTERACŢIUNE ÎN TRATAREA TERMODINAMICII

Dr. ing. *STOIAN PETRESCU* *)
As. univ. *VALERIA PETRESCU* **)

Datorită condiţiilor istorice de dezvoltare a termodinamicii, conceptul de *interacţiune* nu s-a impus ca absolut necesar atîta timp cît problema interpretării mărimilor macroscopice în termeni microscopici nu a căpătat o anumită pondere importantă în cărţile de termodinamică. Necesitatea utilizării acestui concept s-a resimţit mai ales acolo unde s-a renunţat complet la schemele clasice de tratare a termodinamicii (care sînt rupte de orice teorie structurală) şi s-au adoptat scheme în care aspectele macroscopice se îmbină armonios cu cele microscopice. Aceste scheme s-au impus în ultimii ani atît din motive de economie de timp în predare, dar şi din motive de metodologie, susţinîndu-se că în secolul XX nu mai rămîne cu nimic justificată ruptura între tratarea fenomenologică şi cea structurală (statistică sau cinetico moleculară) a termodinamicii [1, 2, 3].

Este aproape surprinzător faptul că acest concept, atît de universal ca sferă de aplicabilitate, întîlnit în toate domeniile ştiinţei a pătruns în termodinamică atît de tîrziu. Explicaţia constă în faptul că modurile de tratare clasică a principiului I (cel tradiţional — pe linia Poincaré-Planck şi cel axiomatic — pe linia Carathéodory-Born) nu fac apel la conceptul de interacţiune.

Astfel, în aceste scheme conceptul de lucru mecanic este preluat din mecanică fără a se analiza dacă există vreo deosebire între lucrul din termodinamică şi cel din mecanica clasică. După cum arată recent Hatsopoulos şi Keenan [4] definiţia din mecanică a lucrului mecanic nu este satisfăcătoare pentru termodinamică. Analizînd această chestiune, ei propun o nouă definiţie care utilizează conceptul de *interacţiune*.

În ceea ce priveşte *conceptul de căldură*, acesta este preluat, în cărţile care folosesc tratarea Poincaré-Planck, din capitolul de calorimetrie al fizicii, aşa cum a apărut din punct de vedere istoric [5, 6, 9].

Pe de altă parte, în cărţile care folosesc tratarea axiomatică a lui Carathéodory-Born, *conceptul de căldură* se introduce formal matematic, pe baza principiului I, după ce în prealabil s-a introdus conceptul de energie internă, admiţînd cunoscută aprioric noţiunea de lucru mecanic adiabat. Datorită lipsei unui suport intuitiv pentru conceptul de căldură

*) Institutul Politehnic Bucureşti, Facultatea de Mecanică.
**) Institutul Politehnic Bucureşti, Facultatea de Chimie Industrială.

astfel introdus, mulţi autori care folosesc această schemă de tratare simt nevoia să completeze acest mod de definire a căldurii cu explicaţii suplimentare, care de cele mai multe ori se reduc la argumente ce ţin de capitolul fizicii numit calorimetrie [7, 10]. Astfel, de exemplu Fermi [10] spune textual: „este important să stabilim legătura între această definiţie abstractă a căldurii şi definiţia sa calorimetrică elementară".

Analizînd deficienţele definiţiilor uzuale ale *căldurii* Hatsopoulos şi Keenan [4] ajung la concluzia că este necesară introducerea unei noi definiţii care să scoată în evidenţă următoarele aspecte esenţiale pentru acest concept:

1° — „Căldura este o *interacţiune* (termică) care implică un transfer de energie între două sisteme".

2° — „*Căldura* diferă de *lucrul mecanic* prin aceea că o *interacţiune termică* poate apare între două sisteme care trec fiecare prin stări de echilibru stabil; în timp ce pentru *interacţiunea prin lucru mecanic*, cel puţin unul din sistemele aflate în interacţiune trebuie să pornească dintr-o stare de neechilibru".

În continuare, autorii citaţi subliniază faptul că *această distincţie între lucrul mecanic şi căldură rezultă din principiul II*, fără de care, după părerea lor, nu ar fi posibilă realizarea unei distincţii între aceste două noţiuni. În consecinţă, ei afirmă că o definiţie generală a *căldurii* nu se poate da înainte de a enunţa principiul II. Într-adevăr, aceşti autori procedează în acest mod dînd mai întîi un nou enunţ pentru principiul II:

„*Un sistem avînd specificate stările permise şi o limitare a volumului disponibil poate atinge din orice stare dată o stare stabilă fără să producă nici un fel de efecte asupra mediului ambiant*".

Apoi, folosindu-se de acest enunţ trec la clarificarea conceptelor de temperatură şi căldură, şi anume pentru *căldură* dau următoarea definiţie: „*Căldura este o interacţiune care poate apare între două sisteme, iniţial izolate şi aflate în stări stabile, cînd sînt aduse în contact fără a altera stările lor permise şi fără a se efectua lucru mecanic de către sau asupra mediului ambiant*".

Constatăm din cele de mai sus că atît definirea căldurii, cît şi cea a lucrului mecanic, în unele tratări moderne face apel în mod insistent, cu pretenţie de esenţialitate, la conceptul de *interacţiune*. Aceste orientări fiind relativ recente (ultimii 10 ani) nu au pătruns încă în foarte multe cărţi de termodinamică (fizică, tehnică sau chimică), din care motiv apreciem că în perioada actuală de eventuală asimilare generalizată a lor (de către tot mai mulţi termodinamicieni din întreaga lume) ar fi binevenită *o analiză mai largă asupra conceptului de interacţiune*, asupra unor aspecte privind gradul său de generalitate; asupra semnificaţiilor sale în filozofie, în fizică şi în particular în termodinamică, insistînd în special asupra raporturilor existente între aceste semnificaţii. În cele ce urmează încercăm să schiţăm o astfel de analiză.

1. *Principiul filozofic al interacţiunii universale*

Principiul filozofic al interacţiunii universale, fiind o consecinţă a generalizării rezultatelor ştiinţelor naturii, afirmă că în natură nu există nici o „părticică" materială care să nu se afle într-o acţiune reciprocă cu alte părţi materiale ale universului. Această acţiune reciprocă a tuturor sistemelor materiale este cauza tuturor modificărilor de stare

şi de structură care au loc în natură. În acest sens, conceptul de interacţiune, este o categorie filozofică cu un grad de generalitate egalabil cu cel al conceptului de mişcare. Aceste categorii reflectă deci, două proprietăţi esenţiale ale materiei. La fel ca orice categorie filozofică *interacţiunea* nu se poate defini prin gen proxim şi diferenţe specifice. Conceptul general de interacţiune se „formează" deci în mintea omului de ştiinţă sau a filozofului prin reflectarea unor interacţiuni particulare, întîlnite în ştiinţele particulare sau prin unele exemple din viaţa de toate zilele. Se ajunge astfel prin inducţie incompletă la categoria de *interacţiune*.

Ceea ce este demn de remarcat este faptul că în diferite domenii ale ştiinţelor particulare avem de-a face cu diverse tipuri particulare de interacţiuni. Este sarcina fiecărei ştiinţe particulare să introducă, să clarifice, să definească aceste tipuri particulare de interacţiuni, să arate efectele pe care le pot produce acestea în sistemele studiate de ştiinţa respectivă.

2. *Conceptul de interacţiune în fizică*

Conceptul de interacţiune s-a dezvoltat extrem de fructuos în mecanică, în legătură cu conceptul de forţă. Deşi această noţiune a jucat un rol central în fizică, întrucît din mecanică s-a extins şi în alte capitole ale fizicii, este de remarcat faptul că strict vorbind nu există în natură forţe pur mecanice. Forţele de la nivelul lumii noastre sînt întotdeauna însumări ale unor interacţiuni elementare — (la nivelul particulelor elementare). Se cunosc în prezent patru tipuri de interacţiuni elementare: forţe nucleare, interacţiuni electrice, interacţiunea de dezintegrare-beta şi gravitaţia [8].

Deşi de cele mai multe ori în fizică conceptul de interacţiune este asociat cu conceptul de forţă, trebuie să remarcăm faptul că se folosesc uneori şi alte accepţiuni ale acestui termen, în funcţie de context sau de grupul de cuvinte cu care este asociat.

Astfel se vorbeşte despre *energie de interacţiune* ca fiind energia potenţială care se datoreşte forţelor care există între moleculele unui sistem şi moleculele mediului ambiant cu care se află în interacţiune. În acest sens, energia potenţială este o *energie de interacţiune* [1].

Din ce în ce mai mult se vorbeşte în termodinamică despre lucrul mecanic şi despre căldură ca fiind măsura cantitativă a unei interacţiuni macroscopice a sistemului, cu mediul ambiant. Astfel, căldura este energia transferată de la sistem la mediu ambiant (sau invers), ca urmare a interacţiunii termice, iar lucrul mecanic este energia schimbată de către sistem cu mediul ambiant ca urmare a interacţiunii mecanice [1, 2, 3, 4].

Constatăm deci că din punctul de vedere al fizicii, cuvîntul *interacţiune* se întîlneşte în legătură cu trei concepte distincte:

a) — *interacţiune elementară*, deseori asociată cu conceptul de forţă elementară (ex. se vorbeşte atît despre forţe tari şi forţe slabe, cît şi despre interacţiuni tari şi slabe); b) — *energia de interacţiune* care este energia potenţială a unui sistem format din particule între care se exercită forţe conservative; c) — *interacţiunile termodinamice* (*macroscopice*) — reprezentînd ansamblul unor interacţiuni microscopice în care diversele părţi ale unui sistem macroscopic schimbă energia între ele, sau un sistem schimbă energia cu exteriorul, efectele fiind macroscopice (ex. interacţiune mecanică, interacţiune termică, etc.).

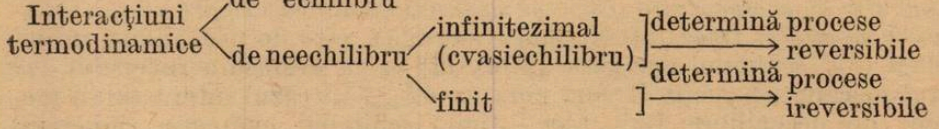
3. *Conceptul de sistem izolat în termodinamică şi legătura lui cu conceptul de interacţiune*

Noţiunea de sistem izolat prezintă un interes metodic esenţial în termodinamică. Definirea corectă a acestei noţiuni face apel neapărat la conceptul de interacţiune. Astfel, se spune că : „Un sistem izolat este acela care nu interacţionează cu exteriorul".

Este clar că aici conceptul de interacţiune este folosit în sensul precizat la punctul (c), pentru că interacţiunile elementare între particulele componente ale sistemului şi pereţi, fie şi izolaţi termic, nu pot fi eliminate. Însăşi prezenţa acestor interacţiuni constituie o condiţie esenţială de existenţă a sistemului. Rezultă că ceea ce se înţelege prin interacţiune macroscopică nu este pur şi simplu o însumare a unor interacţiuni elementare oarecare, ci a unor anumite interacţiuni elementare. Şi anume, după cum vom vedea în continuare, orice interacţiune macroscopică necesită prezenţa în interacţiune a cel puţin două ansambluri de molecule (subsisteme) aflate în stări termodinamice diferite. Fără această condiţie nu are loc o interacţiune cu efecte macroscopice, interacţiunea respectivă fiind de echilibru.

4. *Interacţiuni termodinamice de echilibru şi de neechilibru*

Să analizăm, din punct de vedere cinetico-molecular care este distincţia între o interacţiune termodinamică de echilibru şi cea de neechilibru. Să considerăm, de exemplu, două corpuri aflate în contact (un gaz închis într-un recipient). Unul dintre corpuri (gazul) acţionează asupra celuilalt (recipientul) prin intermediul moleculelor componente. Astfel, moleculele gazului, aflate în permanentă agitaţie, ciocnesc moleculele vasului, care fiind solid nu permite ieşirea acestora în afară. Pe de altă parte, şi moleculele vasului se află într-o stare de agitaţie termică. Cînd o moleculă de gaz ciocneşte o moleculă din vas, va avea loc o modificare a vitezelor (în valoare şi direcţie) celor două molecule. Interacţiunea macroscopică este suma acestor interacţiuni microscopice, a fiecărei particule la un moment dat. Dacă suma acestor interacţiuni microscopice a fiecărei particule nu modifică starea macroscopică a sistemului, la scara noastră lucrurile ne apar ca şi cum nu ar exista nici un fel de interacţiuni. O atare interacţiune se numeşte interacţiune de echilibru. Dacă interacţiunea macroscopică are ca efect modificarea stării sistemului, aceasta este o interacţiune de neechilibru. Prezenţa interacţiunilor de neechilibru determină apariţia unei modificări în energia internă a sistemului. Apare un schimb energetic. Acest schimb energetic se poate desfăşura reversibil sau ireversibil în funcţie de faptul dacă interacţiunile de neechilibru sînt de *neechilibru infinitezimal* sau de *neechilibru finit.*

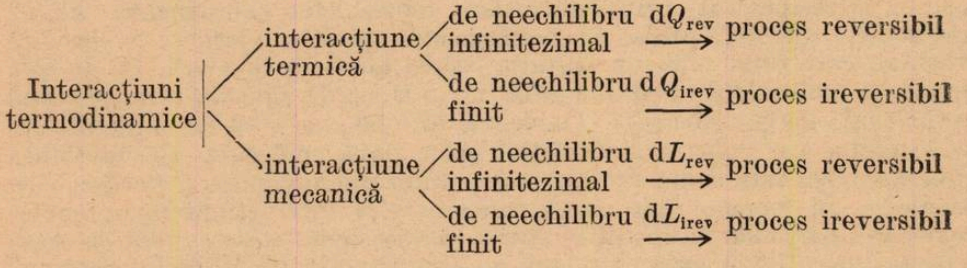


După cum se vede în schema alăturată, există o corelaţie între tipul interacţiunii şi reversibilitatea proceselor termodinamice. Astfel, se poate afirma că procesele reversibile sînt cele care sînt datorate unor interacţiuni de cvasiechilibru, iar cele ireversibile sînt datorate unor interacţiuni de neechilibru finit (Δp, ΔT, etc.).

5. *Tratarea interacțională a principiului I pentru sistemele închise*

Față de tratările clasice ale principiului I (Poincaré-Planck, Carathéodory-Born) apare tot mai frecvent în literatura de specialitate un nou tip de tratare pe care am numi-o *tratarea interacțională*. În aceasta, spre deosebire de cele clasice, se insistă mai puțin pe chestiunea introducerii fenomenologice riguroase a conceptului de energie internă și se insistă mai mult pe clarificarea, pe cale inductivă (uneori apelînd la modele cinetico-moleculare), a conceptelor de interacțiune termică și interacțiune mecanică, după care se dau definițiile corespunzătoare pentru căldură și lucru mecanic. În continuare prezentăm schematic acest mod de tratare a principiului I. Mai întîi se dau definițiile tipurilor principale de interacțiuni termodinamice. *Interacțiunea termică : este interacțiunea care apare la contactul între două corpuri cu temperaturi diferite. Interacțiunea mecanică : este interacțiunea cara apare la contactul între două corpuri aflate în mișcare relativă unul față de celălalt.* De observat că în aceste definiții nu se fac restricții privind felul dezechilibrului existent între părțile aflate în interacțiune, adică dacă este un dezechilibru infinitezimal sau dezechilibru finit. O astfel de precizare conduce la noțiunile de interacțiune termică și mecanică de neechilibru infinitezimal (cuasiechilibru) sau de neechilibru finit.

În schema alăturată am indicat cele patru tipuri de interacțiuni termodinamice care rezultă de aici, precum și schimburile energetice pe care le generează acestea.



Și anume, în terminologia interacțională pentru conceptul de căldură și lucru mecanic se pot da următoarele definiții : *Căldura este măsura schimbului energetic între sistem și mediul ambiant ca urmare a unei interacțiuni termice.* Dacă interacțiunea este de neechilibru infinitezimal (dT) schimbul energetic (procesul) se va desfășura reversibil, iar căldura respectivă o vom nota cu dQ_{rev}. În cazul unei interacțiuni termice de neechilibru finit (ΔT-finit) schimbul energetic (procesul) se va desfășura ireversibil, iar căldura respectivă o vom nota cu dQ_{irev}. *Lucrul mecanic este măsura schimbului de energie între sistem și mediul ambiant ca urmare a unei interacțiuni mecanice.* Dacă interacțiunea mecanică este de neechilibru infinitizimal (dp) schimbul energetic (procesul) se va desfășura reversibil, iar lucrul mecanic respectiv îl vom nota cu $đL_{rev}$. În cazul interacțiunii mecanice de neechilibru finit (Δp — finit) schimbul energetic (procesul) corespunzător va avea loc ireversibil, iar lucrul mecanic respectiv îl vom nota cu $đL_{irev}$.

Din aceste definiții rezultă în mod clar, de la început, că atît căldura cît și lucrul mecanic sînt mărimi care depind de modul în care se desfășoară interacțiunile, deci nu sînt mărimi de stare.

Dînd o definiţie pentru energia internă U, fundamentată pe considerente cinetico-moleculare, se poate trece apoi la enunţarea principiului I pentru sistemele închise care interacţionează termic şi mecanic cu exteriorul:

Variaţia energiei interne a unui sistem închis, $\mathrm{d}U$, este egală cu suma energiilor schimbate pe calea interacţiunilor termodinamice ($đQ + đL$) cu exteriorul.

Expresia matematică a principiului I care reflectă acest enunţ este următoarea:

$$\mathrm{d}U = đQ + đL \tag{1}$$

şi după cum se observă este valabilă atît pentru interacţiuni de neechilibru infinitezimal (procese reversibile) cît şi pentru interacţiuni de neechilibru finit (procese ireversibile). Semnul đ arată că nici Q şi nici L nu sînt mărimi de stare, iar $đQ$ şi $đL$ nu sînt diferenţiale totale, aşa cum este $\mathrm{d}U$. Pentru un proces finit expresia (1) se scrie:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = Q_{12} + L_{12}. \tag{2}$$

Pentru a face utilă expresia matematică a primului principiu (1), mărimile care intervin în aceasta U, Q şi L, trebuiesc exprimate funcţie de parametrii de stare. În ceea ce priveşte pe L, în cazul prceselor de cuasiechilibru (generate de interacţiuni la neechilibru infinitezimal), plecînd de la definiţia lucrului din mecanică se găseşte imediat că:

$$đL_{\mathrm{rev}} = p\mathrm{d}V. \tag{3}$$

Spre deosebire de aceasta, exprimarea lui Q funcţie de parametri de stare este o operaţiune mai dificilă care necesită a se recurge neapărat la principiul II.

Este de semnalat faptul că mulţi autori preferă enunţul dat mai sus pentru principiul I şi scrierea directă a relaţiei (1), fără a recurge la schema Poincaré sau Carathéodory-Born, deşi nu folosesc terminologia interacţională. Se constată că în domenii diverse ale termodinamicii este răspîndit acest mod de tratare: în termodinamica fizică [11] în termodinamica chimică [12], în termodinamica tehnică. Această renunţare la rigurozitatea definirii fenomenologice a noţiunii de energie internă prin intermediul principiului I, în favoarea străduinţei de a se explica *cît mai intuitiv* despre ce este vorba, se întîlneşte acolo unde se urmăreşte mai degrabă înţelegerea esenţei lucrurilor, realizarea unui corespondent fizic intuitiv pentru noţiunile cu care operează principiul I. Folosirea terminologiei interacţionale în cadrul acestei scheme de tratare aduce un surplus de intuitivitate şi se încadrează în schema determinată cauzal:

$$\text{Cauza} \xrightarrow{\text{determină}} \text{Efectul}$$

$$\text{Interacţiunile} \xrightarrow{\text{determină}} \text{Variaţia stării}$$

$$(L+Q) \xrightarrow[\text{este egal cu}]{\text{determină şi}} \Delta U.$$

Există autori care combină utilizarea terminologiei interacţionale pentru definirea lui Q şi L, cu tratarea lui Poincaré, pentru definirea lui U, folosind primul principiu.

Oricare ar fi modul de definire a lui U, fie cinetico-molecular sau conform cu schema Poincaré, apreciem în concluzie că utilizarea terminologiei interacţionale pentru Q şi L aduce un surplus de intuitivitate în tratarea principiului I, din care motiv credem că acest mod de prezentare a chestiunii se va impune.

BIBLIOGRAFIE

1. *J. A. Fay*, Molecular Thermodynamics, Massachusetts. Addison Wesley. Reading 1965.
2. *W. Reynolds*, Thermodynamics Mc. Graw-Hill, New York 1965.
3. *F. Reif*, Statistical physics. Mc. Graw-Hill, Book Company, New York 1967.
4. *G. N. Hatsopoulos, J. H. Keenan*, Principles of General Thermodynanics. Wiley Interscience, 1965.
5. *M. Planck*, Treatise of Thermodynamics. Dover Publications Inc.
6. *A. Sommerfeld*, Thermodynamic and Statistik, Leipzig 1962.
7. *M. W. Zemansky*, Heat and Thermodynamics Mc. Graw-Hill Book Company, N. Y. 1957.
8. *R. P. Feynman, R. B. Leihgton, M. Sands*, The Faynman lectures on Physics, Addison Wesley Publishing Company, 1963.
9. *I. Cadorin*, Chimie fizică, E.D.P., Bucureşti 1971.
10. *E. Fermi*, Termodinamica, Ed. Ştiinţifică, Bucureşti, 1969.
11. *I. P. Bazarov*, Termodinamica, Ed. tehnică, Bucureşti 1962.
12. *G. B. Barrow*, Physical Chemistry Mc. Graw-Hill Book Company, New York 1966.

VITAMINELE, STRUCTURA ŞI ROLUL LOR

MARIA PĂUNEŢ, Bucureşti

În alcătuirea organismelor, după cum se ştie, intră în proporţie mare substanţele fundamentale — protide, lipide, glucide — cu rol de constituţie, de rezervă sau energogenerator şi substanţele active — enzime, vitamine, hormoni.

Substanţele active, deşi în proporţie infimă, îndeplinind funcţie de catalizatori ai reacţiilor chimice ce se produc în mediul bios, mărind viteza de reacţie termodinamic posibilă şi micşorînd energia de activare, contribuind astfel la atingerea stărilor de echilibru, joacă un rol extrem de important în viaţa şi dezvoltarea organismelor.

Vitaminele sînt substanţe organice cu o structură variată, mai simplă sau mai complexă, cu reactivitate chimică specifică. Insuficienţa sau absenţa lor poate avea consecinţe din cele mai grave : anomalii metabolice, fenomene dermice, oprirea creşterii etc. numite în primul caz hipovitaminoze, în al doilea caz avitaminoze (situaţia celor ţinuţi în lagăre, marinari, naufragiaţi etc.).

Fiind absolut indispensabile creşterii şi dezvoltării, vitaminele au fost numite substanţe nutritive esenţiale sau principii alimentare esenţiale. Organismul uman pierzîndu-şi capacitatea de a sintetiza vitamine şi neputîndu-se dezvolta fără ele trebuie totuşi să şi le procure. Pe ce căi va ajunge organismul uman în posesia vitaminelor? Deoarece numai plantele au capacitatea de a sintetiza vitamine şi provitamine, prima cale şi cea mai importantă va fi consumul de alimente de origine vegetală sau alimente de origine animală, care conţin un depozit de vitamine ce s-au acumulat din hrana vegetală.

Organismul uman păstrîndu-şi însă capacitatea de a efectua ultimul act de sinteză a vitaminelor din precursorii acestora, denumiţi provitamine, îşi procură o parte din vitamine prin transformarea provitaminelor în vitamine. Provitaminele sînt de asemenea substanţe de origine vegetală, cu o structură extrem de apropiată de cea a vitaminelor şi care cu mici modificări, se transformă în vitamine. Ele ajung în organismul uman tot pe calea alimentaţiei ; astfel carotenul, ce se găseşte mai ales în morcov, va fi transformat de organismul uman în vitamina A.

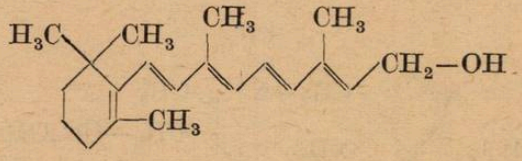
Contribuind la dezvoltarea florei intestinale bacteriile intestinale sintetizează unele vitamine. La om, de exemplu, necesităţile de vitamina K sînt acoperite în cea mai mare măsură prin activitatea acestei flore. Flora microbiană din intestinul vacilor sintetizează complexul B, dovadă, deşi alimentate cu nutreţ ce nu conţine complexul B, acesta se constată în lapte. La administrarea unei cantităţi mari de antibiotice distrugîndu-se flora microniană se constată dispariţia acestei vitamine.

Denumite convenţional după literele alfabetului, vitaminele în funcţie de solubilitate se clasifică în două mari categorii : I. Liposolubile : A, D, E, K ; II. Hidrosolubile : B_1, B_2, B_6, acid folic, acid pantotenic, C, PP.

Clasificarea indică natura alimentelor în care pot fi găsite vitaminele.

Studiul lor a arătat că intră în alcătuirea coenzimelor multor enzime, care după cum se ştie sînt compuse dintr-o proteină specifică şi o coenzimă de natură neproteică ce constituie partea activă a enzimei, componenţă ce explică în mare măsură mecanismul şi cauza pentru care lipsa lor produce tulburări.

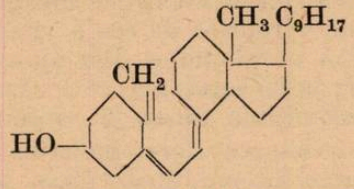
Vitamina A, (retinol) este, din punct de vedere chimic, un alcool nesaturat polietilenic. Este înrudită de aproape cu carotenul — provitamină — organismul avînd capacitatea să o transforme în vitamina A.



Produs prim al oxidării îl constituie aldehida vitaminei A, retinina, aldehidă ce intră în alcătuirea retinei. Fiind un alcool nesaturat polietilenic, vitamina A se comportă ca o substanţă nesaturată, cu mare putere de reacţie, se alterează uşor pierzîndu-şi astfel proprietăţile vitaminice. Este un ulei de culoare gălbuie. Produse bogate în vitamina A : ficat de peşte, gălbenuş de ou, unt. În produsele vegetale de exemplu : morcov, spanac, salată, ţelină se găseşte sub formă de provitamină (caroten). Lipsa ei din hrană duce la keratinizarea epiteliilor (xeroftalmie). Keratinizare = trecerea proteinelor dintr-o formă vie în alta ce nu poate reacţiona şi are ca rezultat orbirea.

Vitamina D (antirahitică). Sub această denumire se înţelege un grup de mai multe vitamine (D_2, D_3, D_4, D_5, D_6) cu structură sterolică şi acţiune fiziologică asemănătoare. Una din cele mai stabile vitamine, ce joacă rol însemnat în metabolismul calciului şi fosforului, lipsa sa ducînd la rahitism caracterizat prin înmuierea oaselor.

Surse principale de vitamină D, sînt : untura de peşte, laptele, untul, gălbenuşul de ou, ficatul etc. Vitamina D_2 (calciferolul) este reprezentantul cel mai activ al acestui grup.

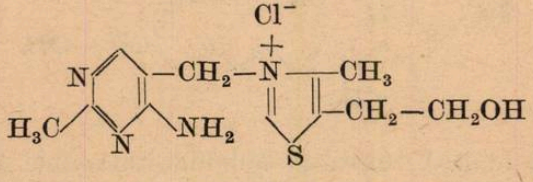


Vitamina D_2 ia naştere din provitamina ergosterol ce are în ciclul al 2-lea două duble legături conjugate ; sub acţiunea razelor ultraviolete suferă o reacţie fotochimică, ce duce la deschiderea ciclului al 2-lea.

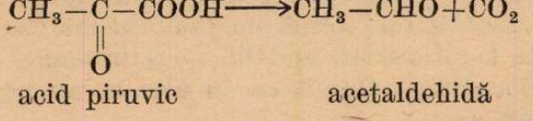
Vitamina E (contra sterilităţii). Se cunosc substanţe naturale β, γ, δ, tocoferoli ce conţin una respectiv 2 grupări metilice în minus la nivelul inelului aromatic faţă de α tocoferolul, caracterizat ca avînd cea mai mare activitate biologică. Lipsa ei provoacă sterilitate la şobolan — femele — la om nu se cunoaşte această afecţiune. Este stabilă la acţiunea temperaturilor înalte, oxigenului, luminii şi instabilă în amestec cu grăsimi rîncezite. Se găseşte în gălbenuş de ou, ficat, ulei de soia, embrioni de grîu, arahide.

Vitamina K (antihemoragică) cu formula $C_{39}H_{48}O_2$. Este un derivat al naftochinonei, poate fi sintetizată de om. Se cunoaşte şi vitamina denumită K_2 cu proprietăţi şi acţiune mai reduse. Este stabilă la acţiunea temperaturilor ridicate şi acizilor, dar sensibilă la acţiunea luminii, oxidarea cu oxigenul din aer, acţiunea alcaliilor. Hipovitaminozele K duc la sîngerări şi tulburări de coagulare a sîngelui.

Vitamina B_1 (aneurina sau tiamina). Conţine doi heterocicli : pirimidinic şi tiazolic, necondensaţi, legaţi prin azotul cuaternar al acestuia din urmă.



Forma activă a vitaminei este tiaminpirofosfatul esterul pirofosforic ce intervine în procese, constituind coenzima decarboxilazelor, calitate în care joacă un rol esenţial în decarboxilarea oxidativă a acidului piruvic şi a acidului α cetoglutaric.



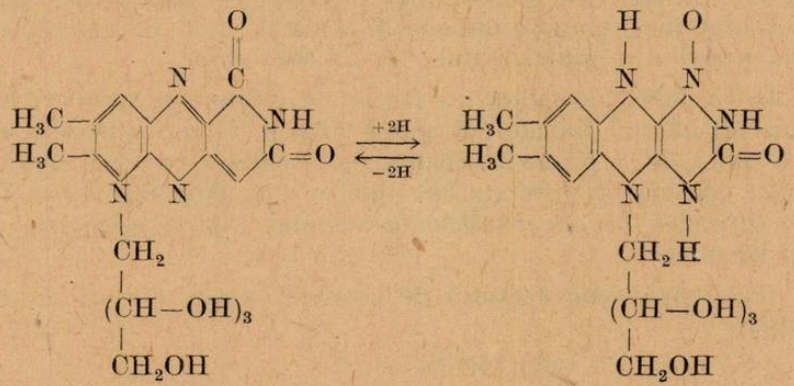
acid piruvic acetaldehidă

Vitamina B_1 manifestă stabilitate la temperatura ordinară în schimb se alterează rapid la cald şi în soluţie. Absenţa ei din hrană duce la boala cunoscută sub numele de beri-beri, caracterizată prin simptome polinevritice şi tulburări cardiace. În cantitate mare intră în compoziţia nervilor. Surse de vitamină B_1 : embrionii de grîu, porumb, orz, tărîţe de cereale, drojdie de bere, dovlecei, arahide.

Complexul vitaminic B_2

Tulburările carențiale la om manifestate prin leziuni ale mucoaselor, atribuite inițial lipsei unei vitamine B_2, s-au dovedit de origine mai complexă, deci deficit de mai multe substanțe. De aceea vorbim de complexul vitaminic B_2, din complex făcînd parte : riboflavina, nicotinamida, acidul folic, acidul pantotenic, piridoxina.

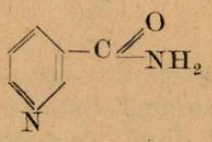
Vitamina B_2 (riboflavina sau lactoflavina) formată din 3 cicluri condensate, unul fiind benzenic și un lanț lateral provenind, nu de la riboză, ci de la ribită — pentaalcool — de unde denumirea vitaminei. Între ciclul II și III există două duble legături conjugate care pot fixa hidrogen, vitamina trecînd din forma oxidată în forma redusă, nucleul acționînd ca un sistem oxido-reductor reversibil. Forma redusă a vitaminei intră în procese metabolice ca coenzimă, ca parte activă a unor enzime — dehidraze — avînd rol de transportor de hidrogen în reacțiile de oxido-reducere din celula vie.



forma oxidată — forma redusă

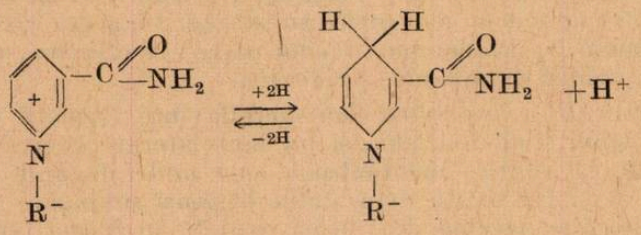
Este termostabilă în mediu acid pînă la 120°. Se distruge prin încălzire în mediu alcalin. Prin coacerea, fierberea, sterilizarea, congelarea produselor alimentare nu se distruge. În alimente se găsește atît în stare liberă (lapte) cît și în stare legată cu proteine și fosfor, organismul însă însușindu-și numai forma liberă. Prin tratamentele hidrotermice la care sînt supuse produsele alimentare, vitamina B_2 trece din forma legată în forma liberă devenind asimilabilă. Lipsa ei se manifestă la animale prin oprirea creșterii cu fenomene cutanate, la om prin dermatite. Surse de riboflavină : drojdia de bere, embrionii de grîu, mazăre, ceapă verde, miere, bere.

Nicotinamida (factor pelagro preventiv, vitamina P.P.), este după cum arată numele amida acidului nicotinic de structură simplă : nucleu piridinic.



Funcția ei biochimică rezultă din faptul că nicotinamida participă la formarea piridinucleotidelor cu rol de coenzime ce intervin în sistemele

redox biologice cu rol de transpotori de hidrogen pe baza reacţiilor de mai jos, în care este implicat numai nucleul nicotinic, R (restul) rămînînd neschimbat.

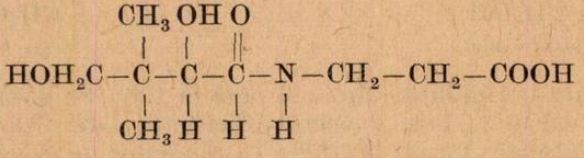


forma oxidată forma redusă

Vitamină rezistentă la încălziri. Lipsa ei din hrană produce pelagră dar nu e singura cauză, ci şi lipsa unor aminoacizi esenţiali ca triptofanul. Boala se întîlneşte în regiunile unde porumbul e baza alimentaţiei (ştiut fiind că proteinele porumbului conţin cantităţi mici de triptofan). Surse : carnea, peştele, drojdiile, laptele, orz, fasole soia.

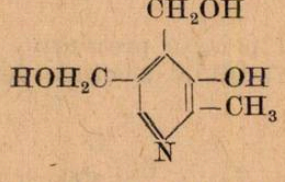
Acidul folic, identificat ca factor de creştere a microorganismelor. Organismul animal transformă acidul folic în folinic o componentă mai activă. Rol : de a forma coenzima de formilare ce catalizează sinteza nucleelor purinice şi pirimidinice, lipsa ei ducînd la carenţă în formarea acizilor nucleici. La om insuficienţa acidului folic se manifestă prin tulburări sanguine.

Acidul pantotenic factorul de creştere pentru drojdii, cu structura următoare :



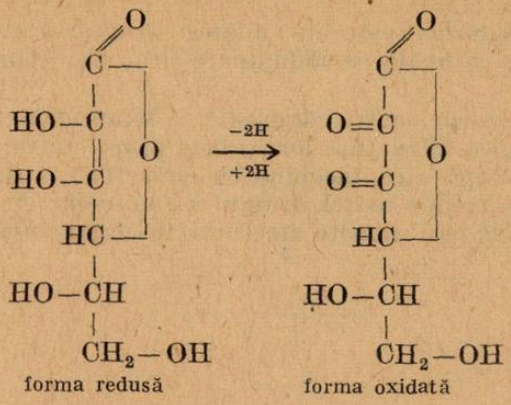
Participă la formarea unei coenzime de mare importanţă fiziologică numită coenzima de acetilare ce intervine în metabolismul acizilor graşi etc. Surse : drojdii, ficat, gălbenuş, rinichi.

Vitamina B_6 (piridoxina, adermina) are la bază nucleul piridinic substituit.



Se cunosc şi alte substanţe cu acţiune vitaminică identică pentru animale : piridoxalul, piridoxamina. Este înrudită cu piridoxaminfosfatul şi piridoxalfosfatul, ultimul fiind deosebit de activ în metabolismul aminoacizilor. Lipsa ei provoacă nervozitate, astenie. Surse : drojdie, carne de pasăre, suc de portocale, ficat.

Vitamina C (acidul ascorbic) structural înrudită cu ozele.



forma redusă forma oxidată

Face parte din sistemele redox trecînd reversibil în acid dehidroascorbic, rolul biologic fiind datorit proprietăţilor oxidoreducătoare. Acidul ascorbic poate acţiona singur, ori sub formă de coenzimă. Hidrogenul de la structura enolică are un caracter acid putînd fi înlocuit cu metale, gruparea

imprimînd caracterul acid vitaminei C, prin oxidare trecînd în

caracteristic acidului dehidroascorbic. La oxidare mai energică

se obţin produse ce nu mai regenerează vitamină C, care astfel este distrusă. Acidul ascorbic este solubil în apă şi mai puţin în alcool etilic. În soluţie e distrus uşor, îndeosebi în prezenţa oxigenului din aer, a luminii etc. Sulfitarea legumelor şi fructelor împiedică oxidarea păstrînd vitamina C.

Această substanţă asigură organismului rezistenţa împotriva diferitelor infecţiuni bacteriene. Carenţa în vitamina C duce la scorbut, boală ce se manifestă prin leziuni capilare cu sîngerări, gingivită. Necesităţile omului în vitamina C sînt de 75 mg/zi (ştiut fiind că nevoile zilnice pentru restul vitaminelor sînt sub 10 mg/zi). Principalele surse : măcieşe, coacăze, citrice, ardei, pătrunjel frunze etc. În numeroase produse vegetale există o gamă însemnată de substanţe care prin proprietăţile lor inhibă dezvoltarea organismului uman datorită cărui fapt au fost numite : antiproteigenetice, antitiroidiene, antimineralizante, antivitaminice.

Antivitaminele prezintă o structură şi proprietăţi foarte asemănătoare vitaminelor. Acţiunea lor atrage atenţia cu atît mai mult cu cît în procesele chimice se integrează în locul vitaminelor (contribuind însă în sens contrar în procesul metabolic).

Antivitamina tiaminei şi analogul ei structural este *piritiamina* ce se deosebeşte de tiamina prin faptul că un atom de S este substituit cu gruparea $-CH=CH-$. Hrănirea şoarecilor cu doze mici de piritiamină

face să apară la ei simptomele tipice ale avitaminozei B_1 ce dispar la hrănirea cu tiamina.

Acidul glucoascorbic este un analog structural al acidui ascorbic provocînd la şoareci o boală asemănătoare prin simptomele ei cu avitaminoza C.

Cercetările chimice pentru cunoaşterea vitaminelor au evoluat paralel cu cele fiziologice. Structura lor (şi deci proprietăţile lor) a fost verificată în laborator după care, începînd cu anul 1930, a urmat sinteza lor industrială. A fost deschis astfel drumul vitaminelor sintetice, utilizate pe scară largă în cele mai diferite afecţiuni ale organismului uman.

SUMARUL ANULUI IX — 1972

	Nr. rev.	Nr. pag.
Aczel F. C., lector dr., Timişoara: Frecarea internă la metale	8	281
Ardeleanu I., Tarău N., Zbarcea M., Cluj: Rolul problemelor de fizică în instrucţia şi educaţia elevilor	9	347
Baican R., cercet. I.F.A. Buc.: Sensibilitatea spectrometrelor RPE	5	172
Baltag Oct., stud. Iaşi: Oscilator electric tranzistorizat pentru urmărirea vizuală a oscilaţiilor electrice întreţinute	2	55
Bobulescu R., Buc.: vezi *Gherbanovschi N.*		
Boiciu Vianor, ing. asist. Iaşi: Amplificatoare alimentate în curent alternativ	12	457
Burnea Lucia, lector Craiova: Contribuţia cursurilor de perfecţionare la lărgirea orizontului şi sferei preocupărilor profesorilor de chimie	11	410
Burzo E., ing. dr. I.F.A. Buc.: Consideraţii privind studiul prin rezonanţă paramagnetică electronică a ionilor în metale	4	142
Buzu Iulian, prof. Roşiorii de Vede: Lecţie de fizică la anul II real	5	199
Calinicenco N., prof. univ. Iaşi: Determinarea conţinutului de fier dintr-un minereu	2	53
Căplănuş Ion, asist. Bucureşti: O descoperire veche cu aplicaţii moderne, efectul Hall	7	248
Cândea C., vezi *Gavrilă I.*		
Chelu Iulian, prof. Bucureşti: Centrul de greutate şi teoremele fundamentale ale mecanicii	1	22
Pentru continuitate în învăţarea fizicii la diferite nivele	10	361
Ciubotariu Corneliu, asist. Iaşi: Originea cîmpurilor magnetice cosmice	10	374
Cojocaru I., vezi *Gavrilă I.*		
Comaniciu N., Drăgănescu V., Ionescu Pallas, N., Tatu V.: Structuri hiperfine şi deplasări izotopice în spectrele atomice	10	382
Comărăscu C., ing. Braşov: vezi *Sima Petre*		
Constantinescu Mihaela, cercet. C. Ch. Fizică, Buc.: Efecte de memorie la adsorbţia gazelor pe semiconductori sub influenţa luminii	2	67
Contineanu M. asist. Univ. Buc.: Tehnica radiolizei în impuls	10	397
Cosma F., Cluj, vezi Koch F.		
Cosma S., conf. univ., dr. Timişoara: Obţinerea macromonocristalelor de alaun	8	296
Crăciun P., asist., *Păcuraru V.*, prof. Iaşi: Aspecte ale emisiunii electronice la substanţele nemetalice	8	312
Curievici I., prof., *Nagacevschi V.*, asist. Iaşi: Construirea şi experimentarea unui examinator automat	6	229
Danciu Livia, ing. Timişoara: Detergenţii	6	212
Dănilă Barb, dr. IFA Buc.: Efectul Mössbauer şi aplicaţiile sale	4	151
Demco D., cercet. IFA Buc.: Fenomenul de relaxare electronică paramagnetică în solide	4	133
Demirian Dante, asist. Buc., vezi *Druică Zeletin I.*		
Domide Leontin, prof. Baia Mare: Maşină de instruire programată	6	238
Domşa Flavian, ing. fiz. IFA Buc.: Aparatură experimentală în spectroscopia RPE	5	161

BIBLIOTECA „ASTRA" SIBIU

Drăgănescu V., IFA Buc.: vezi *Comaniciu N.*
Druică Zeletin Ion, lector Inst. Constr. Buc., *Demirian Dante*, asist. Buc.: Energia cîmpurilor electric și magnetic 9 354
Dumitriu Titu Mihai, asist. Craiova: Compuși semiconductori ternari cu structura diamantului 6 201
Moise Ion, stud.: Efectul Hall în semicondutori 7 254
Erdei Ștefan, prof. Săcueni: O mașină simplă de verificare programată 6 234
Problematizarea și programarea în predarea fizicii 11 429
Fey Vasile, prof. Cluj: Observații în legătură cu fluxul de inducție magnetică . 8 318
Fulea Octav, Leca Minodora, Univ. Buc.: Vibrațiile normale ale polimerilor . . 2 71
Gavrilă I., prof. dr. Brașov: Dispozitiv pentru demonstrații electrostatice . . 6 224
Cojocaru I., Cândea C., Brașov: Acțiunea ultrasunetelor asupra unor depuneri galvanice 2 78
Georgescu Claudiu, cercet. I.F.A. Buc.: Straturile subțiri — componentă a laserilor 9 321
Gheorghiu Cornelia, prof. Buc.: Noțiuni de termodinamică chimică 1 12
Noțiuni de cinetică chimică. 2 41
Realizarea educației patriotice a elevilor de către profesorul de chimie . 9 350
Gherbanovschi N., Bobulescu R., Univ. Buc.: Determinarea unor mărimi caracteristice plasmei reci prin metoda sondei Langmuir 1 36
Grigore Costin, ing. Brașov: vezi *Sima Petre.*
Gruia Maria, dr. Centrul Ch. Fiz. Buc.: Cataliza în lupta împotriva poluării atmosferei. 2 58
Gyorffy Ianos, prof. Miercurea Nirajului: Metodica rezolvării unor probleme . 11 426
Hirsch Lanczos Peter, prof. Arad: Holografia optică 3 81
Ionescu Pallas Nicolae, cercet. IFA Buc.: O metodă euristică de introducere a conceptelor mecanicii clasice 9 325
vezi *Comaniciu N.*
Ivanov Maria, prof. Buc.: Cîteva chestiuni teoretice privind geometria moleculelor 6 218
Koch E., prof., *Cosma F.*, Cluj: Radiația β în cîmp magnetic 11 438
Leca Minodora, Univ. Buc.: vezi *Fulea Oct.*
Lupu Viorica, lector, *Stoleru Constantinescu Paula*, Buc.: Modalități de realizare a problematizării în învățarea chimiei 3 88
Manda D-tru, prof. Giurgiu: Dispersia luminii prin refracție 5 194
Manea C-ța, prof. Buc.: Mișcarea circulară, efect al interacțiunii corpurilor . . 2 48
Mihai Paula, lector I.C.P.P.D. Craiova, *Miu Nicolae*, prof. Craiova: Unele probleme referitoare la introducerea fizicii moderne în liceu 11 407
Perfecționarea profesorilor de fizică din învățămîntul de cultură generală și de specialitate și relația Universitate-Inspectorat școlar 11 401
Milcoveanu Dan, prof. Hunedoara: Demonstrarea consecventă și pedagogică a ecuației generale de mișcare a fluidelor reale 5 186
Miu Nicolae, inspect. Craiova: vezi *Mihai Paula.*
Moise Ion, stud. Craiova: vezi *Dumitriu Titu Mihai*
Nagacevschi V., asist. Iași: vezi *Curievici I.*
Niac Gavril, prof. univ. Craiova: Concepții moderne despre acizi și baze reflectate în manualele universitare și de liceu 9 339
Nicolaiciuc Rodica, prof. Buc.: Încercări de problematizare a unor lecții recapitulative 3 101
Nistor Ion, prof. Huedin: Aplicații ale efectului Hall 7 266
Panaiotu Lidia, lector I.C.P.P.D. Buc.: vezi *Teodoru A.*
Păcuraru V.: vezi *Crăciun P.*
Păunel Maria, Buc.: Vitaminele, structura și rolul lor 12 474
Petre Sima, prof. dr. Brașov, *Grigore Costin*, ing., *Comărăscu C.*, ing. Brașov: Aparat pentru studiul compunerii oscilațiilor armonice 3 115
Petrea Ion, conf. univ. Buc.: Optimizarea predării problematizate a fizicii . . . 3 86
Petrescu Leontina, prof. Tr. Măgurele: Legea dezintegrării radioactive 3 111
Petrescu Stoian, dr. ing., *Petrescu Valeria*, asist. IPB Buc.: Cu privire la locul și importanța conceptului de interacțiune în tratarea termodinamicii . 12 468

Petrescu Valeria, asist., *Petrescu S.*, I.P.B. Buc. : Conceptul de polarizare . . 7 241
Petrescu Prahova Maria, prof. Buc. : Ce sînt şi ce rol au mărimile fizice 8 305
Peţan Tudor, absolv. Oradea : Fenomene termice în placa Hall 7 264
Pop Luminiţa, prof. Bucureşti : Legi de conservare şi variaţie în fizică . . . 12 441
Rothenstein E. F., prof. dr. Timişoara : Asupra conceptului de transformare simplă 5 190
Termodinamica şi teoria informaţiilor. 10 367
Sfichi Romulus, prof. Suceava : Principiul lucrului mecanic virtual şi aplicaţiile sale 12 451
Spirea Viorica, prof. Ploieşti : Studiul momentului forţei 11 416
Stănciulescu Geonoveva, prof. Buc. : Metodica predării oxizilor la cl. VII şi VIII 11 420
Stoleru Constantinescu Paula, lector Buc. : vezi *Lupu V.*
Surdeanu Tudor, ing. Cluj : Despre formele polimorfe ale Al_2O_3 . . . . . 10 393
Tarău N. : vezi *Ardeleanu I.*
Talu V., I.F.A. Buc. : vezi *Comaniciu N.*
Teodoru Adriana, prof. Buc. : Introducere în studiul cîmpului magnetic . . . 1 34
Panaiotu Lidia, lector Buc. : Perfecţionarea tehnologiei învăţării 3 94
Ursu I., prof. dr. doc. IFA Buc. : Principiile rezonanţei paramagnetice electronice 4 121
Vasilescu I. J., chim. Făgăraş : Reacţii de culoare a purpurogalinei 8 298
Vass Gh., stud. Univ. Buc. : Elemente de dinamică relativistă 7 270
Vereş Zoltan, prof. Marghita : Unele modalităţi de problematizare aplicabile în rezolvarea problemelor de fizică 3 105
Zăvoianu Dinu, lector dr. Univ. Buc. : Mecanisme de reacţie în chimia organică 5 180
Zbarcea M. : vezi *Ardeleanu I.*
Tematica de studiu individual pentru perfecţionarea profesorilor de fizică şi chimie, categ. I şi II 1 1

Din viaţa Societăţii

În zilele de 7—8 octombrie, 1972 a avut loc la Arad consfătuirea cu tema: „Algoritmizarea în predarea fizicii şi chimiei — metodă modernă în accentuarea laturii formative în procesul de învăţare", iar în zilele de 9—10 decembrie, 1972, la Buzău consfătuirea cu tema: „Valenţele instructiv educative ale fizicii şi chimiei"

REVISTA DE FIZICA ŞI CHIMIE, SERIA A,

urează colaboratorilor şi cititorilor ei succes în activitatea

ştiinţifică şi

LA MULŢI ANI!

I. P. Informaţia c. 2001 | Index 43459 | Lei 3